

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS

ALEXANDRA TOLFO VENDRÚSCOLO

COMPORTAMENTO REOLÓGICO E ESTABILIDADE FÍSICA
DE POLPA DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.)

FLORIANÓPOLIS – SC

FEVEREIRO DE 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS

ALEXANDRA TOLFO VENDRÚSCOLO

COMPORTAMENTO REOLÓGICO E ESTABILIDADE FÍSICA
DE POLPA DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola L.*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mara Gabriela Novy Quadri

Co-orientador: Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza

Florianópolis, fevereiro de 2005.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a Deus, por ter me dado forças para vencer todos os obstáculos.

Agradeço a meus Pais por me proporcionarem esta oportunidade, sem eles nada disso seria possível. A meus Pais e Irmão também agradeço pela compreensão nos momentos de angústia, pelo carinho e dedicação.

Agradeço à Professora Mara Gabriela Novy Quadri e ao Professor José Antonio Ribeiro de Souza pela orientação.

Agradeço a todos os amigos e professores que participaram de uma forma ou de outra na realização deste trabalho, sempre dando-me forças para vencer as dificuldades encontradas no decorrer de todos estes anos.

Muito obrigada pelos ensinamentos, dedicação e apoio amigo. Vocês foram fundamentais.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	13
1.1 Introdução.....	13
1.2 Objetivos.....	15
1.3 Estrutura da Dissertação.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 A Carambola.....	17
2.2 Polpa de Frutas.....	18
2.3 Fisiologia Frutas e Vegetais.....	19
2.3.1 Parede Celular Vegetal.....	19
2.3.2 Componentes das Paredes Celulares Vegetais.....	22
2.4 Aplicação de Enzimas no Processamento de Sucos e Polpas.....	24
2.5 Cor nos Alimentos.....	26
2.6 Reologia.....	30
2.6.1 Reologia e Viscosidade.....	32
2.6.2 Comportamento reológico de suspensões.....	33
2.6.3 Aplicação de modelos reológicos para sucos e polpas de frutas.....	35
2.6.4 Reologia das suspensões.....	36

2.6.5 Mecanismos de estabilização de suspensões.....	38
3. Estudo do rendimento e Cor de Polpa de carambola (<i>Averrhoa carambola L.</i>).....	40
Resumo.....	40
Abstract.....	40
3.1. Introdução.....	41
3.2. Material e Métodos.....	44
3.2.1. Extração da polpa.....	44
3.2.2. Cálculo do Rendimento.....	45
3.2.3. Análise da Cor.....	45
3.3. Resultados e Discussão.....	46
3.3.1 Rendimento da Polpa.....	46
3.3.2 Análise de Cor.....	47
3.4. Conclusão.....	51
3.5. Referências Bibliográficas.....	51
4. Estudo da Separação de Fases da Polpa de Carambola (<i>Averrhoa carambola L.</i>).....	54
Resumo.....	54
Abstract.....	54
4.1. Introdução.....	55
4.2. Material e Métodos.....	56
4.2.1 Obtenção da polpa.....	56
4.2.2 Caracterização da polpa.....	58
4.2.3 Estabilidade Física e Tamanho de Partículas.....	58
4.3. Resultados e Discussão.....	58
4.3.1 Caracterização da polpa.....	58
4.3.2 Estabilidade Física e Tamanho de partículas.....	60
4.4. Conclusão.....	65
4.5. Referências Bibliográficas.....	65

5. Estudo do Comportamento Reológico de Polpa de Carambola (<i>Averrhoa carambola L.</i>).....	68
Resumo.....	68
Abstract.....	69
5.1. Introdução.....	69
5.2. Material e Métodos.....	70
5.2.1. Obtenção da polpa de carambola.....	70
5.3. Resultados e Discussão.....	72
5.4. Conclusão.....	79
5.5. Referências Bibliográficas.....	80
6. CONCLUSÃO.....	82
7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	84
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 -	Estrutura da parede celular vegetal.....	21
FIGURA 2.2 -	Estrutura geral da parede celular de vegetais.....	22
FIGURA 2.3 -	Ação das quatro maiores enzimas encontradas na pectinase.....	26
FIGURA 2.4 -	Valores espectrais padrões em função do comprimento de onda.	28
FIGURA 2.5 -	Representação do sistema CIELAB.....	29
FIGURA 2.6 -	Desenho Esquemático indicando o efeito da presença de uma partícula esférica sobre as linhas de fluxo de um fluido submetido ao cisalhamento.....	33
FIGURA 2.7 -	Desenho esquemático da parcela de água ocupada no reconhecimento da superfície e preenchimento dos interstícios entre partículas em contato.....	37
FIGURA 2.8 -	Diagrama esquemático indicando a influência da dispersão das partículas e da distribuição granulométrica sobre as características reológicas e de empacotamento das partículas, evidenciando a sinergia entre essas variáveis.....	37
FIGURA 2.9 -	Fenômeno de sedimentação de partículas em suspensões dispersas (a), e aglomeradas (b)	38
FIGURA 2.11 -	Mecanismos de estabilização de suspensões.....	39
FIGURA 3.1 -	Fluxograma de produção de polpa de carambola pelos métodos convencional e enzimático.....	44
FIGURA 3.2 -	Sistema de coordenadas CIELAB.....	49
FIGURA 4.1 -	Fluxograma de Produção da polpa de carambola.....	57
FIGURA 4.2 -	Estabilidade da polpa de carambola <i>in natura</i>	60
FIGURA 4.3 -	Observação da sedimentação das partículas.....	64
FIGURA 4.4 -	Aparência da polpa de carambola.....	64

FIGURA 5.1 -	Fluxograma de Produção da polpa de carambola.....	71
FIGURA 5.2 -	Comportamento reológico da polpa pasteurizada.....	72
FIGURA 5.3 -	Comportamento reológico dos diferentes tratamentos da polpa de carambola.....	74
FIGURA 5.4 -	Comportamento reológico da polpa pasteurizada sob diferentes velocidades de homogeneização.....	75
FIGURA 5.5 -	Comportamento reológico da polpa pasteurizada não filtrada e filtrada.....	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Composição química da carambola (USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 14 (Julho 2001)).....	18
TABELA 2.2 - Resumo dos principais tipos de comportamentos e seus modelos de dimensionamento.....	34
TABELA 3.1 - Rendimento (%) e resíduos (%) das polpas obtidas pelo método convencional e com adição de enzima.....	46
TABELA 3.2 - Imagens selecionadas de acordo com o valor de L*, a*, b* da polpa de carambola nos diferentes tratamentos.....	47
TABELA 3.3 - Resultados obtidos nos ensaios de cor da polpa de carambola.....	48
TABELA 3.4 - Diferença de cor entre as amostras analisadas por espectrofotometria.....	50
TABELA 4.1 - Características físico-químicas da polpa de carambola.....	59
TABELA 4.2 - Altura de sedimentação, tempo de sedimentação.....	61
TABELA 5.1 - Resultados obtidos nos ensaios de viscosidade (mPas), sólidos solúveis e insolúveis (g100mL ⁻¹) e diâmetro das partículas (µm).....	76
TABELA 5.2 - Resultados obtidos nos ensaios de viscosidade (mPas) e sólidos solúveis (g100mL ⁻¹) para as amostradas <i>in natura</i> e pasteurizadas, filtradas.....	78
TABELA 5.3 - Resultados obtidos nos ensaios de viscosidade (mPas) e sólidos solúveis (g100mL ⁻¹) para as polpas <i>in natura</i> e pasteurizada.....	78

RESUMO

A indústria de polpas congeladas de frutas tem se expandido significativamente nos últimos anos, notadamente no Brasil, onde a grande variedade de frutas supre o mercado de sabores diferentes e sofisticados, muito apreciado pelos consumidores. A polpa congelada, por apresentar características de praticidade, vem ganhando grande popularidade, sendo utilizada principalmente na elaboração de sucos. A obtenção destes produtos passa por diferentes etapas, as quais influem diretamente sobre a qualidade final, e conseqüente aceitação por parte do consumidor. O presente trabalho propõe a avaliação de diferentes etapas de processo sobre a qualidade da polpa de carambola, visando a obtenção de um suco turvo e homogêneo. Para tanto estudou-se o rendimento de extração e a variação de cor após estocagem congelada, a sedimentação de partículas em suspensão após tratamento enzimático e pasteurização, bem como a viscosidade considerando, além destes tratamentos citados, a homogeneização, filtração e concentração da polpa. O estudo do rendimento mostrou que a aplicação de tratamento enzimático com Pectinex Ultra SP-L, a 55 °C por 1 h, aumentou o volume de polpa em 56 mL para cada 1000 mL extraídos, o que representa cerca de 5,5 % a menos de resíduo. A polpa obtida das diferentes etapas de processo, foi estocada a -18°C por 6 meses. Destas amostras, apenas a amostra pasteurizada a 100 °C por 10 min mostrou-se aceitável para consumo, conservando a cor da polpa recém-extraída. As demais amostras, *in natura* e tratada enzimaticamente sofreram oxidação devido à atividade enzimática. Homogeneização a 11000 rpm por 2 min e a 22000 rpm por 5 min não alteraram a cor das amostras, cuja variação foi avaliada através do cálculo da diferença de cor ΔE . O estudo da separação de fases por sedimentação da polpa de carambola mostrou que os tratamentos enzimático e térmico são fundamentais para o estabelecimento de um produto de aparência homogênea. A inclusão da homogeneização no processo leva a um produto com altura de sedimentação menor que 2 %, um valor praticamente desprezível. Microfotografias mostram a evolução da suspensão, onde partículas pouco homogêneas passam a um estágio na forma de suspensão, no final do processo. Quanto ao comportamento reológico, a polpa de carambola mostrou um perfil newtoniano em todas as etapas de processo estudadas, sendo que a viscosidade diminui com a diminuição do teor de sólidos insolúveis na mistura e aumento da intensidade de homogeneização. A concentração da polpa a 50 % de seu volume apresentou maior viscosidade, mas o comportamento newtoniano foi mantido.

ABSTRACT

Juice and pulp industry has significantly expanded in the last years in Brazil, where the great variety of fruits give to the market different and sophisticated tastes appreciated by the consumers. Frozen pulp is a product very practical and popular, principally used in making juices. Several steps are needed to get these products, and its influence on the final quality leads to the acceptance, or rejection, of the product in the consumer market. The present work proposes the evaluation of the influence of different process steps on the quality of the star fruit pulp, viewing the obtainment of a turbid and homogeneous juice. It was studied the performance of the extraction step and the color change after frozen storage, the sedimentation of the particles in suspension after enzymatic treatment and pasteurization, as well the viscosity of the pulp in these steps and also in homogenization, filtration and concentration. The performance study of the extraction operation showed that the enzymatic treatment using Pectinex Ultra-SP, at 55 °C during 1 h, rises 56 mL to each 1000 mL of extracted pulp volume, reducing residues of around 5,5 %. Pulp samples obtained from the different process steps were storage at -18°C for 6 months. Only the pasteurized pulp at 100 °C for 10 minutes was acceptable for consuming, maintaining the color similar to the new extracted pulp. The other samples, crude and enzyme treated undergone oxidation due to the enzymatic activity. Homogenization at 11000 rpm for 2 minutes and 22000 rpm for 5 minutes did not alter the sample colors, which variation was evaluated by the color difference, ΔE^* . The separation of the phases study by sedimentation of the star fruit pulp showed that the enzyme and heat treatments are essential to the establishment of a product with an homogeneous appearance. The addition of the homogenization step in the process leads to a product containing less than 2 % sedimentation height, a practically negligible value. Microphotographs showed the evolution of the particles in the suspension, since where non homogeneous particles pass to an arrangement similar to a net, with a gel appearance, at the final of the process. The starfruit showed a Newtonian behavior in all studied steps of the process. Viscosity diminishes when the solids content diminishes and the homogenization intensity rises. Insoluble solids had a more important influence than soluble solids. The concentration of the pulp to 50 % of its initial volume rose the viscosity, but the flow behavior remained Newtonian.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

O hábito do consumo de sucos de frutas e hortaliças teve aumento considerável nos últimos anos, motivado pela falta de tempo da população em preparar sucos *in natura*, pela praticidade oferecida e ainda como substituição ao consumo de bebidas carbonatadas, pelo seu valor nutritivo e pela preocupação com o consumo de alimentos mais saudáveis (MATSUURA & ROLIM, 2002).

As frutas são alimentos que oferecem uma grande variedade de sabores e aromas agradáveis. Devido aos altos teores de água (cerca de 80%) e de açúcares (frutose), elas hidratam o organismo e são fonte de energia para o corpo. Além disso contém vitaminas A e C e muitos sais minerais, principalmente cálcio, ferro e fósforo. Apresentam digestão rápida, e são facilmente assimiladas pelo organismo, podendo ser consumidas em seu estado natural ou depois de preparadas, seja em sucos, doces, conservas ou secas (TODA FRUTA, 2004).

Algumas estimulam o intestino, outras ativam as funções gástricas ou desintoxicam o organismo. Entretanto, para se aproveitar bem as propriedades nutritivas das frutas, elas devem ser consumidas quando estão perfeitamente maduras (nem verdes nem passadas). As frutas são uma parte indispensável na dieta humana, sendo a principal fonte de ácido ascórbico, fundamental para a ingestão de caroteno, riboflavina, tiamina, niacina, ácido fólico entre outras vitaminas do complexo B (MACHADO & LINHARES, 2002). As frutas contêm de 0,3 a 5,7% de fibras em sua composição, sendo essencial a inclusão das mesmas em nossa dieta para suprir necessidades de fibras dietéticas (ARTHEY & ASHURST, 1998). A carambola é uma fruta rica em sais minerais (cálcio, fósforo e ferro) contendo vitaminas A, C e do complexo B (MATSUURA & ROLIM, 2002).

O Brasil é um grande exportador de frutas frescas, mas existe um mercado potencial internacional para frutas tropicais com a comercialização na forma de sucos concentrados, gerando maiores lucros e menos perdas.

De acordo com a FAO (Food and Agriculture Organization), a comercialização de sucos de frutas tem crescido mais do que cinco vezes nos últimos quinze anos.

A indústria de polpas congeladas de frutas tem se expandido bastante nos últimos anos, notadamente no Nordeste brasileiro, sendo que unidades fabris são compostas, em sua maioria, de pequenos produtores, onde grande parte deles utilizam processos artesanais, sem a devida observação das técnicas adequadas de processamento. A polpa congelada, por apresentar características de praticidade, vem ganhando grande popularidade, não só entre as donas de casa, mas também em restaurantes, hotéis, lanchonetes, etc., a qual é utilizada principalmente na elaboração de sucos (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Existe uma ampla variedade de frutas tropicais, mas somente um pequeno número dessas frutas são cultivados e processados em larga escala. Isto se deve, principalmente, aos elevados custos de produção, os quais se relacionam à falta de infra-estrutura, principalmente, nos países produtores destas frutas, bem como ao baixo nível de conhecimento técnico dentro das respectivas indústrias (SCHOTTLER & HAMATSCHEK, 1994).

A separação de fases, em sucos de frutas, é um dos principais fatores responsáveis pela depreciação visual, comprometendo sua competitividade (GODOY *et al.*, 1998). Uma das formas usadas para evitar este problema, é o conhecimento da forma e tamanho das partículas em suspensão para então, fazer-se uso de pequenas quantidades de hidrocolóides, podendo manter sua polpa suspensa sem alterar significativamente a qualidade sensorial (GLICKSMAN, 1982a).

O suco de carambola ainda é pouco consumido no mercado. Na literatura existem poucas referências sobre os dados reológicos, composição, estabilidade física e influência das partículas na reologia da polpa e do suco desta fruta. Estes dados são de fundamental importância nas indústrias de alimentos, já que determinam o desenvolvimento de processos e equipamentos.

O conhecimento do comportamento reológico de sucos, concentrados ou não, é útil não só para o controle de qualidade do produto, mas principalmente no projeto de tubulações e bombas, sistemas de agitação e mistura, esterilização, estocagem, concentração, resfriamento e outros (VASQUES, 2003).

Para fabricação dos produtos derivados de carambola utiliza-se a polpa concentrada, a qual é submetida aos processos de industrialização. Para que cada etapa do processo seja economicamente viável, é fundamental o conhecimento das propriedades físicas e

químicas da polpa submetida a tais processos. Queiroz (1996), afirma que dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de grande destaque.

A inexistência de dados reológicos sobre frutas tropicais na literatura tem levado a indústria nacional a utilizar no processo de fabricação destes sucos, condições semelhantes às aplicadas na produção do suco de laranja. Todavia, por terem propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade (FERREIRA *et al.*, 2002). Para obter sucos concentrados com qualidade capaz de conquistar o paladar exigente dos consumidores, a indústria brasileira deve respeitar as características exclusivas de cada fruta. A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também a grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam atualmente.

1.2 Objetivos

Um dos objetivos do presente trabalho é avaliar a estabilidade física das partículas em suspensão da polpa de carambola, bem como fazer o estudo do comportamento reológico deste fluido. Além disto, procurou-se conhecer o comportamento do produto nas diferentes etapas de processamento, bem como avaliar o rendimento e variação de cor durante a estocagem.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho encontra-se dividido em 8 capítulos. No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, incluindo aspectos de processamento de polpas de frutas, uma breve revisão sobre a carambola, aspectos da fisiologia e histologia vegetal, enzimas utilizadas no processamento de sucos e polpas e a cor dos alimentos, fundamentos de reologia e de dispersão, mecanismos de estabilização de suspensões, assim como aplicações dos modelos reológicos para sucos, polpas e purês de frutas.

Nos capítulos de 3 a 5, o trabalho é apresentado sob forma de artigos, e são abordados aspectos específicos do objetivo geral do trabalho, correspondendo aos objetivos propostos. Cada artigo é dividido, por sua vez, em resumo, abstract, introdução, material e métodos, resultados e discussão, conclusão e referências bibliográficas.

No capítulo 3 faz-se o estudo do rendimento e qualidade sensorial da polpa de carambola (*Averrhoa carambola L.*), sendo que o rendimento de polpa foi realizado com uso da enzima pectinase e, análise de cor por espectrofotometria da polpa de carambola após estocagem.

O estudo da estabilidade física da polpa de carambola (*Averrhoa carambola L.*) análise da dispersão são abordados no capítulo 4.

No capítulo 5 é abordado o estudo do comportamento reológico da polpa de carambola (*Averrhoa carambola L.*), onde avaliou-se a influência dos sólidos sobre sua viscosidade.

Por fim, nos capítulos de 6 a 8, são apresentadas as conclusões gerais, relativas aos capítulos anteriores, bem como sugestões para trabalhos futuros e referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Carambola

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) pertence à família Oxalidácea e a forma de seus frutos varia de oblongo a elipsóide, com 6 a 15 cm de comprimento e com 4 a 5 recortes longitudinais, que correspondem aos carpelos. A casca é translúcida, lisa e brilhante, e a cor varia do esbranquiçado ao amarelo-ouro intenso (DONADIO, 2001).

A caramboleira é originária da Ásia, desde a região da Malásia até a Indonésia, ou seja, o Sudeste asiático (TEIXEIRA *et al.*, 2001), podendo ser encontrada também no Arquipélago das Molucas, Índia e Srilanka. Foi inicialmente levada às Filipinas e Índia na pré-história, e a outros países asiáticos. Foi introduzida na África e nas Américas, tendo sido citada sua ocorrência no Rio de Janeiro, em 1856, e na Flórida e Trinidad Tobago, em 1887. Há citações de sua introdução no Brasil, em 1811, em Pernambuco, junto com a *Averrhoa bilimbi*, de Cayena, para o Jardim da Aclimação em Olinda. No Brasil, especialmente no Estado de São Paulo, a cultura da carambola está em franca expansão, com pomares sendo formados com plantas “nativas” e/ou cultivares originadas da Flórida, cujas informações sobre desempenho, qualidade e composição química são escassas (GOMES, 1989).

As carambolas são classificadas em dois grandes grupos, o tipo ácido que deve ser consumido após um processo de transformação e o doce, oriundo de seleção recente, que se destina ao consumo fresco, recomendando-se não processar pois perdem sua identidade após a cocção.

A carambola, comestível quando madura, é consumida fresca ou sob forma de compotas, geléias, vinhos, passa, doces; o suco da polpa é refrescante e saudável e tem uso medicinal no tratamento de febres, escorbuto e desintéria. A polpa da carambola é, em geral, de consistência rígida, com sabor variando de árvore para árvore e de fruto para fruto, mas costuma ser adocicado quando amadurece e um tanto ácido e adstringente quando ainda está verde (TEIXEIRA *et al.*, 2001).

Saúco (1994) referiu-se à caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) como uma das fruteiras com grande potencial, devido à capacidade de rápido desenvolvimento e alta produtividade, possibilidade de seleção de novos tipos doces e de cultivo em sistemas baixos, fruto com aparência e sabor únicos.

A carambola é uma fruta rica em sais minerais (cálcio, fósforo e ferro) contendo vitaminas A, C e do complexo B. Seu suco, além de possuir um delicioso sabor, é utilizado no combate a desintéria, febres, escorbuto e, devido a grande quantidade de ácido oxálico, é ainda utilizada pela medicina popular no tratamento de afecções renais (TEIXEIRA *et al*, 2001). A Tabela 2.1 mostra a composição química da carambola.

TABELA 2.1 – Composição química da carambola (USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 14 (Julho 2003)).

Composição química	Valor por 100 g
Água (g)	91
Calorias (Kcal)	33
Proteínas (g)	1
Carboidratos, por diferença (g)	8
Fibra total dietética (g)	3
Cálcio, Ca (mg)	4
Magnésio, Mg (mg)	9
Fósforo, P (mg)	16
Potássio, K (mg)	163
Sódio, Na (mg)	2
Selênio, Se(μg)	1
Vitamina C, ácido ascórbico total (mg)	21
Folato total (μg)	14

Apesar de pouco consumida no Brasil, a carambola apresenta um considerável potencial para exportação desde que sejam superadas barreiras tais como a indefinição de variedades, a determinação da fase de maturação e o desconhecimento de práticas pós-colheita que garantam a qualidade do fruto durante o transporte a longas distâncias.

2.2 Polpa de Frutas

De acordo com a Resolução - CNNPA nº 12, de 1978 da ANVISA, polpa de fruta é definido como o produto obtido por esmagamento das partes comestíveis de frutas carnosas

por processos tecnológicos adequados. O produto é designado por "polpa", seguido do nome da fruta. Ex: "polpa de carambola".

O produto deve ser preparado com frutas sãs, limpas e isentas de parasitos e de detritos animais ou vegetais. Não deve conter fragmentos das partes não comestíveis da fruta, nem substâncias estranhas à sua composição normal, exceto as previstas nesta Norma. Será tolerada a adição de sacarose em proporção a ser declarada no rótulo.

Quanto às características organoléticas, devem apresentar:

- Aspecto: pasta mole;
- Cor: própria;
- Cheiro: próprio;
- Sabor: próprio.

A polpa é formada por duas fases distintas, a fase líquida e a fase sólida. Na fase líquida estão presentes compostos solúveis, como por exemplo vitaminas, sais minerais, carboidratos e água. Por outro lado, a fase sólida é composta de sólidos insolúveis, e por células trituradas ou não.

O entendimento da fisiologia de frutas e vegetais é importante para a caracterização das polpas de frutas devido à influência que as partículas resultantes têm sobre as mesmas.

2.3 Fisiologia de Frutas e Vegetais

2.3.1 Parede Celular Vegetal

Em todas as paredes celulares vegetais existem duas camadas: a lamela média (substância intercelular) e a parede primária. A lamela média situa-se entre as paredes primárias de células adjacentes. A parede secundária, se presente, é depositada pelo protoplasto sobre a superfície interna na parede primária (Figura 2.1).

A lamela média compõe-se principalmente de substâncias pécticas e freqüentemente é difícil distingui-la da parede primária, principalmente nas células que formam paredes secundárias grossas.

A camada parietal depositada antes e durante o crescimento da célula chama-se de parede primária. Muitas células são formadas única e exclusivamente pela parede primária.

Esta camada, além de celulose, contém hemicelulose, pectina (Figura 2.2) e proteínas ricas em hidroxiprolina. Células em divisão ativa comumente contém apenas paredes primárias, assim como a maioria das células maduras que realizam processos como fotossíntese, respiração e secreção. As paredes primárias, de um modo geral, não são uniformes na espessura em toda a sua extensão. Áreas mais finas, ditas campos primários de pontuação estão presentes. Nestes campos pontuados é comum a presença de filamentos citoplasmáticos, ou plasmodesmatas, intercomunicando os protoplastos vivos de células adjacentes (RAVEN *et al.*, 1976).

Em determinados tipos celulares, o protoplasto segrega uma parede secundária por dentro da primária. Na grande maioria dos casos, isso acontece depois que o crescimento celular cessou e a parede primária não amplia mais a sua área. Frequentemente, o protoplasto morre em seguida à deposição da parede secundária. A celulose é mais abundante nas paredes secundárias do que nas paredes primárias, sendo aquelas portanto mais rígidas. Nas paredes secundárias podem ser distinguidos três estratos, diferindo na orientação das suas fibrilas celulósicas (Figura 2.1a), o que confere maior rigidez e resistência a esta parede. Nas células condutoras e de sustentação, a parede secundária estabelece-se somente sobre uma parte da parede primária, revestindo-a na forma de anéis, hélices ou rede, não cobrindo também os campos pontuados primários da parede primária, do que decorrem as características, depressões ou pontuações (Figura 2.1b).

Em uma célula, uma pontuação habitualmente ocorre em oposição à pontuação da célula com a qual está em contato (Figura 2.1c). A lamela média e as duas paredes primárias, situadas entre as duas pontuações, denominam-se membrana da pontuação. As duas pontuações opostas, associadas à membrana, constituem um par pontuado, o qual pode ser simples ou areolado (com a parede secundária curvada sobre a cavidade da pontuação). Os plasmodesmatas, comunicações citoplasmáticas entre células adjacentes, ocorrem em toda parede celular ou agregados nos campos pontuados primários ou nas membranas situadas entre os pares de pontuações.

O xilema exerce funções de sustentação, condução de água e sais minerais e armazena substâncias alimentares. As células condutoras de água do xilema são os membros dos vasos (ou elementos dos vasos) e as traqueídes, que são células alongadas com paredes secundárias. Os membros dos vasos apresentam perfurações, podendo ser na forma de placa perfurada, terminais e em alguns casos laterais. Os traqueídes apresentam somente pontuações. Durante os estágios finais de diferenciação, as pontuações são parcialmente hidrolisadas, restando apenas uma rede altamente permeável de microfibrilas de celulose.

O mais característico dos componentes da parede celular vegetal é a celulose, que constitui grande parte da estrutura parietal. As moléculas de celulose estão unidas em microfibrilas. Estas microfibrilas por sua vez, formam delgados filamentos ou fibrilas que podem enrolar-se em torno uma das outras, formando uma macrofibrila com até 500 mil moléculas de celulose. As fibras celulósicas da parede acham-se em uma matriz reticulada de moléculas não-celulósicas, as hemiceluloses e substâncias pécticas. A lignina é um dos constituintes mais importantes da parede secundária, sendo rígido. Caracteristicamente, a lignificação começa na lamela média, depois espalha-se pela parede primária e finalmente atinge a parede secundária (RAVEN *et al.*, 1976).

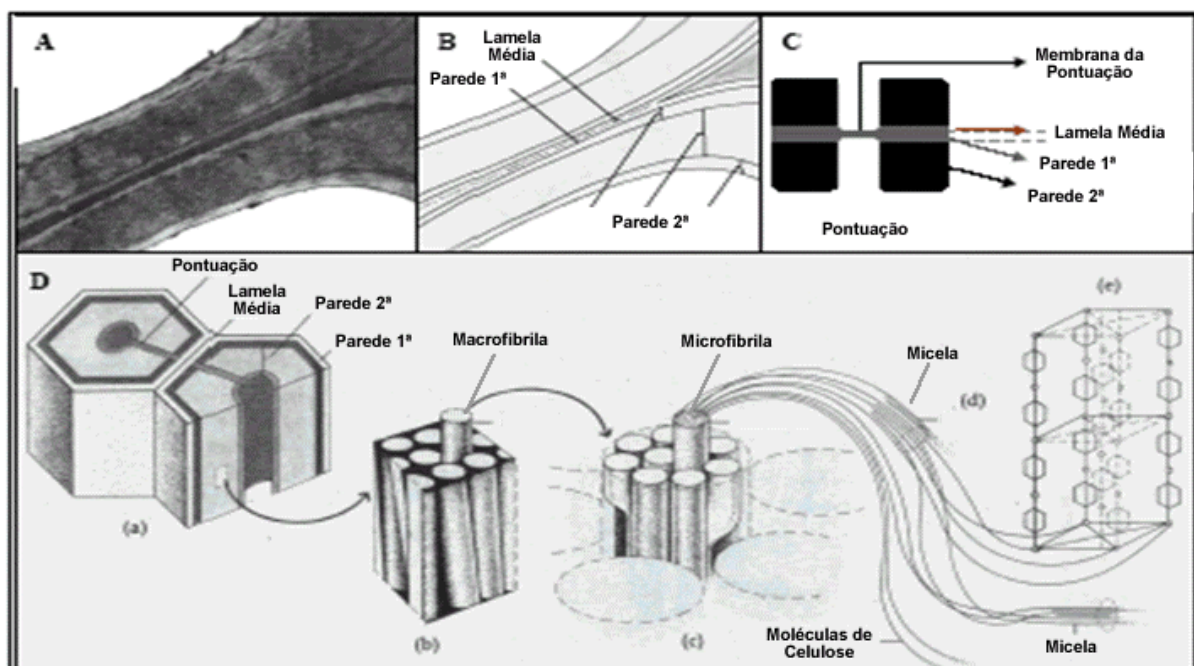


FIGURA 2.1 – Estrutura da parede celular vegetal. **A** – Eletromicrografia da parede celular de duas células vegetais adjacentes; **B** – Camadas da parede celular mostrada em A, evidenciando a distinção da lamela média, paredes primária e secundária; **C** - Diagrama da organização de uma pontuação, ilustrando a membrana da pontuação, composta de lamela média e parede primária, numa região sem parede secundária; **D** – Estrutura detalhada da parede celular: **a**) estrutura parietal em camadas, com destaque para pontuação; **b**) a celulose, o principal componente da parede celular, ocorre na forma de fibrilas de diferentes tamanhos. As fibras maiores ou macrofibrilas são formadas por estruturas menores, as microfibrilas **(c)**; nestas microfibrilas as micelas **(d)** são arranjadas de modo ordenado, conferindo propriedades cristalinas à parede; **e**) a micela é mantida pela formação de pontes de hidrogênio entre as cadeias das moléculas de celulose (modificado de RAVEN *et al.*, 1976; RAVEN *et al.*, 2001).

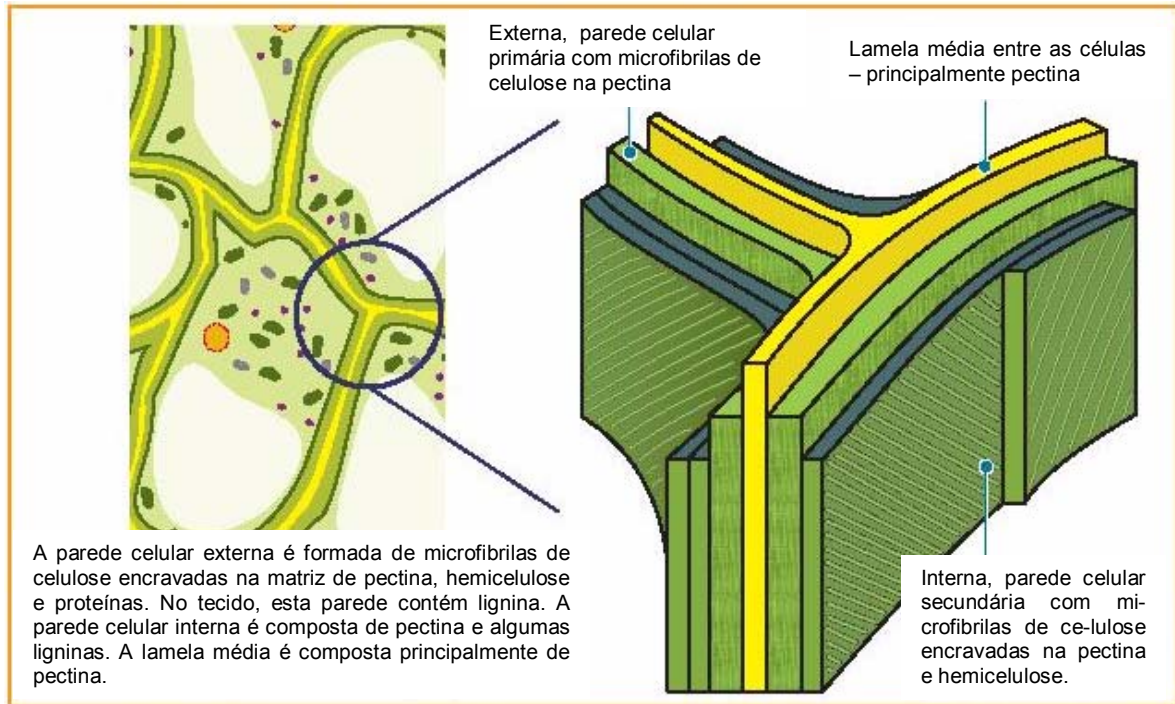


FIGURA 2.2 – Estrutura geral da parede celular de vegetais (ENZYMES, 2004).

2.3.2 Componentes das paredes celulares vegetais

As paredes primária e secundária e a lamela média são níveis estruturais encontrados em paredes vegetais. A lamela média preenche os espaços entre as paredes primárias e as células adjacentes, sendo constituída principalmente de pectina, pectato e hemicelulose. As camadas primária e secundária contém quantidades variáveis de celuloses, hemiceluloses e pectinas. A parede secundária, embora não esteja presente em todas as células, fornece um suporte estrutural à célula, apresentando também lignina (PRADE *et al.*, 1999).

Os polímeros encontrados nas paredes celulares vegetais podem ser agrupados como celulose (glicana β -D-1,4), substâncias pécicas (galacturonanas e ramnogalacturonanas; arabinanas; galactanas e arabinogalactanas I), hemiceluloses (xilanas, incluindo arabinoxilanas, e [4-O- metilglicoronoxilanas, as glicomananas e galactoglicomananas, xiloglicanas e glicanas β -D-1,3 e β -D-1,4), outros polissacarídeos (calose, arabinogalactanas II e glicoromananas) e glicoproteínas. As arabinogalactanas do tipo I apresentam cadeias lineares β -D-1,4 galactana enquanto as do tipo II apresentam cadeias internas altamente ramificadas com ligações intergalactose 1,3 e 1,6 (ASPINALL, 1980).

Celulose: É o principal componente de sustentação das estruturas vegetais. É um homopolissacarídeo neutro formado por cadeias retilíneas de anidro D-glucose unidas em β -1,4, ou seja, contém unidades do dissacarídeo celobiose. A ausência de substituintes nas longas cadeias de glucose permite a sua associação por grande número de ligações de hidrogênio, levando à formação de estruturas cristalinas nas fibras, resultantes da união de várias cadeias. Estas estruturas, juntamente com o tipo das ligações glicosídicas, tornam a celulose mais resistente à hidrólise (resistência da ligação β -1,4) em meio ácido, quando comparada com outros hidrocolóides como o amido, por exemplo. Ao mesmo tempo que dificultam a penetração da água (cristalinidade) e reduzem a elasticidade das fibras (ligações intercadeias e intramoleculares).

Hemicelulose: Corresponde a um grupo de polissacarídeos, associados à celulose nas paredes celulares. Tais compostos são de interesse no processamento de vegetais, principalmente por sua contribuição para uma estrutura mais rígida dos vegetais, o que irá afetar o seu corte na mastigação.

Pectina: É o polissacarídeo que, junto com a celulose e hemicelulose, forma o material estrutural das paredes celulares dos vegetais. A combinação de pectina com a celulose e hemicelulose por ligações covalentes dá origem à chamada protopectina. Com o envelhecimento do vegetal, a pectina é enzimaticamente degradada com perda de rigidez do material estrutural (BOBBIO & BOBBIO, 2001).

Substâncias Pécnicas: Este termo é utilizado de uma maneira geral para referir-se a um grupo complexo de polissacarídeos das paredes celulares primárias e regiões intercelulares das plantas superiores. O termo substâncias pécnicas abrange o éster metílico, a pectina, o ácido péctico desesterificado e seus sais e os pectatos, além de certos polissacarídeos neutros sem a estrutura principal galacturonana, que são frequentemente encontrados em associação com a pectina. A característica dominante da pectina, o principal constituinte das substâncias pécnicas, é uma cadeia linear de unidades de ácido D-galacturônico no qual proporções variáveis dos grupos ácidos (40 a 60%) estão presentes como ésteres metílicos (ASPINALL, 1980; HELDT & HELDT, 1997; PRADE *et al.*, 1999).

Proteínas: A matriz extracelular vegetal contém diversas classes de proteínas e glicoproteínas, as quais podem ser covalentemente ligadas à parede celular ou podem ser solúveis em grau variado. Uma classe é constituída pelas glicoproteínas ricas em hidroxiprolina, na qual a extensina é um exemplo. A extensina é onipresente nas paredes celulares como um componente estrutural da parede celular primária (ASPINALL, 1980). A expressão das glicoproteínas ricas em hidroxiprolina, e das proteínas ricas em prolina acompanha a diferenciação do tecido vegetal, podendo apresentar funções como determinar

a rigidez da parede e a conseqüente resistência do tecido à invasão dos patógenos (DOWN *et al.*, 1998).

2.2 Aplicação de Enzimas no Processamento de Sucos e Polpas

Os constituintes da parede celular dos vegetais são degradados através da ação das enzimas.

As pectinases são produzidas durante o processo de amadurecimento natural de certas frutas, onde junto com as celulases, ajudam amaciar sua parede celular. As substâncias pécticas encontram-se, principalmente, depositadas na parede celular, atuando como material cimentante, sendo responsáveis pelas mudanças de textura dos frutos (CHITARRA & CHITARRA, 1990). São derivadas do ácido poligalacturônico e ocorrem na forma de protopectina, ácidos pectínicos, ácidos pécticos e pectinas.

Enzimas pécticas têm ação sobre pectinas tanto na degradação da cadeia poligalacturônica (poligalacturonase) como na desmetoxilação dos compostos (pectinametilesterase) e entre outras aplicações essas enzimas são empregadas na clarificação de sucos de frutas.

A pectinesterase (PME), além de ser amplamente distribuída em raízes, caules, folhas e frutos da maioria das plantas superiores, catalisa a desmetilação dos ésteres metílicos dos ácidos poligalacturônicos. O amaciamento que pode ocorrer durante a solubilização da pectina, no amadurecimento do fruto, normalmente é atribuído à hidrólise de ligações glicosídicas na pectina por poligalacturonase (PG) (NOVOZYMES, 2004).

As enzimas pectinolíticas comerciais têm sido muito utilizadas na produção de sucos de frutas. Elas têm papel fundamental para a obtenção de sucos claros e estáveis, alto rendimento e qualidade do concentrado.

A adição de enzimas pécticas no estágio de despulpamento aumenta o rendimento de sucos e ajuda na clarificação. Estas enzimas são importantes na produção de sucos de frutas concentrados, pois elas são usadas para reduzir a viscosidade e evitar a geleificação da pectina durante a concentração. As enzimas também são utilizadas como auxiliares no descascamento e corte de frutas e, ainda na preservação da textura de frutas e vegetais processados. Celulases, amilases e pectinases facilitam a maceração e clarificação durante o processamento de sucos reduzindo os custos e melhorando o rendimento do produto final (ENZYMES, 2004).

A pectinase ajuda na hidrólise da pectina, causando uma redução na viscosidade da polpa e um significativo aumento na produção de sucos. Pectinesterase (PME) e poligalacturonase (PG) são pectinases que liberam ácidos carboxílicos e ácidos galacturônicos durante o tratamento térmico, o que causa uma redução no pH da polpa (BASTOS *et al.*, 2002).

A produção em massa de sucos turvos é significativamente afetada pela temperatura e tempo usado no tratamento enzimático. A pectinase remove pedaços da capa de pectina da partícula de turvação do suco e isso possibilita a agregação de diversas partículas com uma densidade maior e, portanto, mais fáceis de serem removidas por decantação e/ou centrifugação (ENZYMES, 2004).

As enzimas pectinolíticas, ou pectinases, são produzidas por fungos filamentosos, bactérias e algumas leveduras, com atuação específica sobre as substâncias pécticas, heteropolissacarídeos estruturais que ocorrem principalmente na lamela média e na parede celular de plantas superiores (ROMBOUTS & PILNIK, 1980).

Pectinase é uma mistura de várias enzimas, incluindo a pectinesterase, poligalacturonase e hemicelulase, o que, junto com outras enzimas como as celulases, é muito usada na indústria de sucos de frutas onde são largamente empregadas durante a etapa de extração, clarificação e modificação de sucos de frutas, pois são capazes de romper as substâncias pécticas. A pectinesterase é usada em indústrias de processamento de frutas para a maceração da polpa de frutas e despectinização de sucos (MALDONADO *et al.*, 1998). Estas enzimas têm importantes aplicações industriais, especialmente na área de alimentos, em operações como, extração, clarificação e remoção de pectina de sucos de frutas, macerações de vegetais e frutas e extração de óleos vegetais (Da SILVA, *et al.* 1997; GALIOTOU-PANAYOTOU *et al.*, 1997; BRAVO *et al.*, 2000; KASHYAP *et al.*, 2001;).

As pectinases podem ser classificadas por degradarem a pectina por diferentes modos de ação, desesterificando (pectinesterase) ou despolimerizando (hidrolases e liases). Além do modo de ação, podem também ser classificadas pelo tipo de preferência pelo substrato, podendo preferir o ácido péctico (ou pectato), que são os ácidos poligalacturônicos que não apresentam metoxilação, ou o ácido pectínico ou pectina, que são os ácidos poligalacturônicos que contêm quantidades variáveis de grupos metoxílicos (ALKORTA *et al.*, 1997).

As pectinases podem ser subdivididas em: a) Poligalacturonases (PG) as quais hidrolisam as ligações glicosídicas internas (α -1,4) entre os resíduos de ácidos galacturônicos, causando a despolimerização da molécula. A ação dessa enzima é acompanhada pelo aumento de açúcares redutores no meio; b) Pectina- liases (PL), que

são enzimas despolimerizantes que quebram a ligação glicosídica por mecanismo de trans-eliminação de hidrogênio a partir da ligação entre os carbonos da posição 4 e 5 do ácido galacturônico. Sua ação é acompanhada por um aumento da absorbância a 235 nm devido à formação de dupla ligação, entre aqueles carbonos, que serve para monitorar a atividade enzimática (WHITAKER, 1990).

A Figura 2.3 ilustra o modo de ação das quatro principais enzimas encontradas nas pectinases comerciais, a saber a poligalacturonase, pectinesterase, pectinaliase e oligogalacturonase.

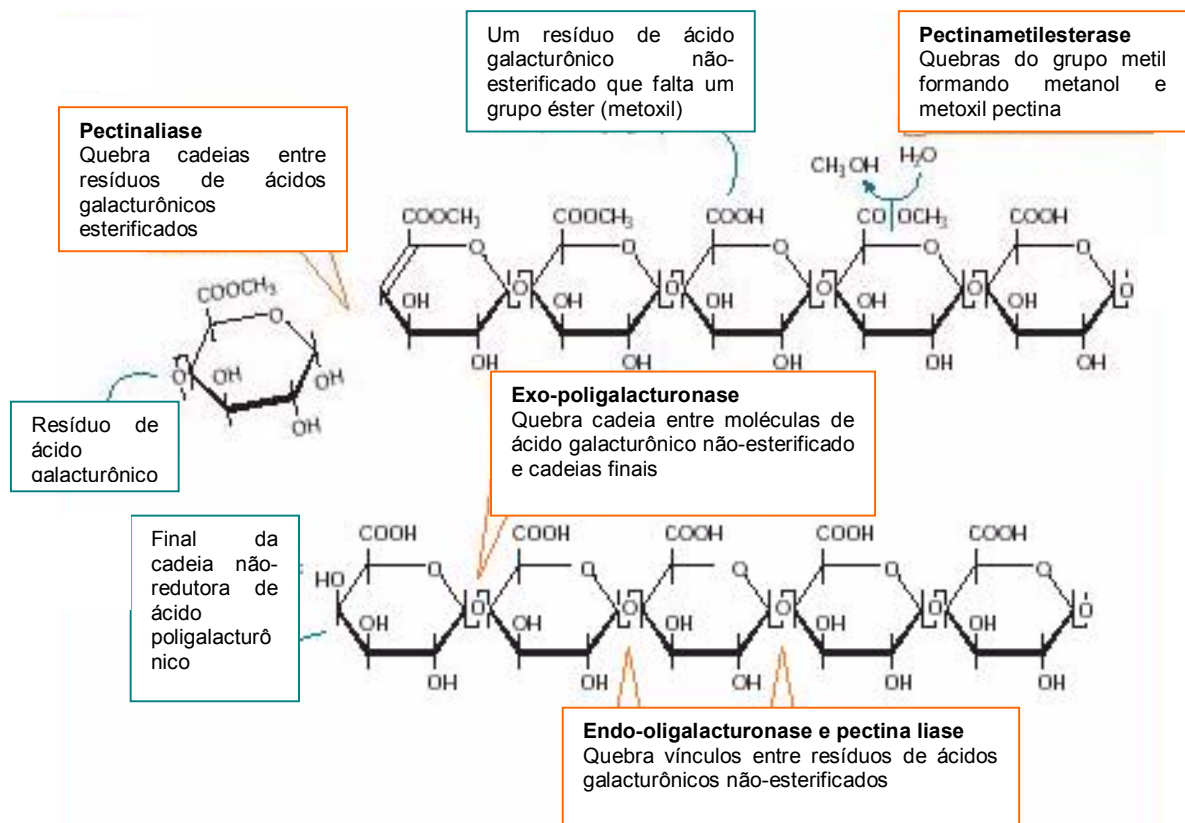


FIGURA 2.3 – Ação das quatro maiores enzimas encontradas na pectinase (ENZYMES, 2004).

2.5 Cor nos alimentos

A aparência de um alimento contribui para a sua aceitabilidade, razão pela qual a cor é o mais importante fator na preferência do consumidor pelos alimentos. A cor em alimentos resulta da presença de compostos coloridos já existentes no produto natural (pigmentos naturais) ou da adição de corantes sintéticos. A cor é influenciada pela absorção da luz por

um objeto (HUNTERLAB, 2004), e pode ser definida como sendo o resultado da interação entre três elementos distintos: um foco de luz, o objeto iluminado e o observador.

A cor de alimentos, processados ou não, além dos outros aspectos de sua aparência, impressionam e ajudam o consumidor na decisão sobre a aceitação ou rejeição do produto. A maioria dos alimentos apresentam uma coloração própria, bem característica e quando a cor ou aparência desviam-se muito do esperado são rejeitados pelo consumidor.

O escurecimento de frutas e de certos vegetais é um fator de aceitação ou rejeição, sendo iniciado pela oxidação de compostos fenólicos pelas polifenol oxidases (PPOs). O produto inicial da oxidação é a quinona, que rapidamente se condensa, formando pigmentos escuros insolúveis, denominados melanina. As quinonas também podem reagir não-enzimaticamente com outros compostos fenólicos, aminoácidos e proteínas, formando também melanina. (ARAÚJO, 1995). A enzima polifenol oxidase é encontrada em praticamente todos os tecidos vegetais e sua atividade pode ser diferenciada em função da variedade da fruta, estágio de maturação e das condições de cultivo.

O escurecimento enzimático está relacionado à ação das polifenol oxidases (PPO) e peroxidases (PDO), que utilizam compostos fenólicos como substratos (ROBARDS *et al.* 1999), e exibem intensidade variável durante o crescimento, desenvolvimento e maturação dos frutos (SILVA, 2000).

Das enzimas que oxidam aqueles compostos, as polifenol oxidases se associam a dois tipos de reações seqüenciais. Na primeira, as enzimas, denominadas monofenol mono-oxigenases hidroxilam um monofenol para formar um o-difenol, que é incolor. A reação seguinte, referida como atividade catecolase, é a oxidação do o-difenol em compostos de cor ligeiramente amarela, as o-quinonas. As quinonas, por sua vez, sofrem reações secundárias, enzimáticas ou não, formando os pigmentos marrons característicos do fenômeno (MURATA *et al.* 1995; SILVA, 2000).

As reações de escurecimento enzimático ocorrem no tecido vegetal quando há ruptura da célula e a reação não é controlada, embora no tecido intacto de frutas e vegetais, possa também ocorrer o escurecimento. A reação de escurecimento em frutas e vegetais é um dos principais problemas na indústria de alimentos, pois a ação da enzima polifenol oxidase resulta na formação dos pigmentos escuros, freqüentemente acompanhados de mudanças indesejáveis na aparência e nas propriedades organolépticas do produto, resultando na diminuição da vida útil e do valor de mercado (SILVA, 2000).

A cor dos alimentos é um fator importante para a comercialização, mas devido à falta de equipamentos específicos e o elevado custo produtivo, muitas vezes este parâmetro não é estudado (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

A quantificação e definição de cor, no sentido físico, é definida como sendo a distribuição de energia de uma luz refletida ou transmitida por um objeto (ALVARADO &

AGUILERA, 2001). Cor é simplesmente o efeito das ondas de luz refletidas ou absorvidas pelos objetos, sendo influenciadas sob diversos aspectos:

- pelas características da fonte de luz sob a qual o objeto é observado;
- pela incidência das ondas de luz sobre o objeto (absorvidas, transmitidas ou refletidas);
- pelo acabamento do objeto (CIELAB, 2004).

A luz que incide sobre um objeto assume as propriedades de sua fonte assim como do objeto, pois espera-se que este varie com a mudança de fonte de luz. Este efeito de uma fonte de luz na aparência de cor de um objeto quando comparado com outro objeto sob uma fonte padrão é chamado de “Interpretação da cor”.

Existem diversos sistemas para a interpretação da cor. Os símbolos X, Y e Z da CIE (Commission Internationale d'Eclairage) representam as frações das três cores: X (vermelho), Y (verde), Z (azul) e são definidos como componentes cromáticos ou valores tristímulos. Estes valores caracterizam uma cor quanto a sua percepção pelos órgãos da visão. Portanto, poderíamos representar as cores colocando os valores tristímulos diretamente em um gráfico tridimensional, como pode ser observado na Figura 2.4.

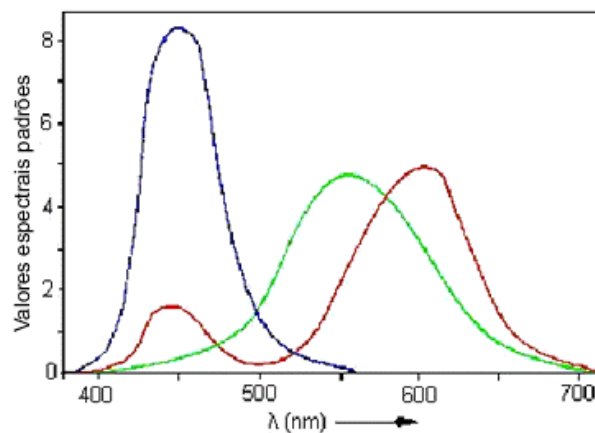


FIGURA 2.4 - Valores espectrais padrões em função do comprimento de onda (CIELAB, 2004).

A representação de uma cor pode ser mais clara se conhecermos os coeficientes cromáticos que são calculados de acordo com as seguintes equações:

$$X = \frac{x}{x + y + z} \quad Y = \frac{y}{x + y + z} \quad Z = \frac{z}{x + y + z}$$

Conhecer os valores de X, Y e Z é muito importante para então tornar possível o cálculo dos valores de L^* , a^* e b^* através do sistema CIELAB, o qual vai nos dar a diferença de cor.

O sistema CIELAB é o sistema baseado na teoria de percepção de cores opostas e estabelece que uma cor não pode ser verde e vermelha ou amarela e azul ao mesmo tempo

(CIELAB, 2004). Este sistema é descrito por um diagrama tridimensional, onde o espaço é definido pelas coordenadas retangulares, luminosidade (L^*), componente vermelho-verde (a^*) e componente amarelo-azul (b^*), e pelas coordenadas cilíndricas do mesmo espaço, croma (C^*) e tonalidade cromática (H^*) (OLIVEIRA *et al*, 2003).

A linguagem CIELAB nos dá a diferença de cor calculada pelo uso das escalas de cores oponentes L^* , a^* , b^* (CIELAB, 2004). Assim se estabelece um sistema tridimensional, o espaço CIELAB, constituído por três coordenadas, capazes de descrever a uniformidade da cor:

- L^* , é uma medida da luminosidade de um objeto e varia do 0 (para o preto) até ao 100 (para o branco).
- a^* é uma medida do vermelho (a^* positivo) ou do verde (a^* negativo);
- b^* é uma medida do amarelo (b^* positivo) ou do azul (b^* negativo);

Estas coordenadas (a^* e b^*) aproximam-se do zero para cores neutras (branco, cinzento e preto) e formam um plano horizontal dentro deste sólido (CIELAB, 2004). A Figura 2.5 representa as coordenadas do sistema CIELAB no plano.

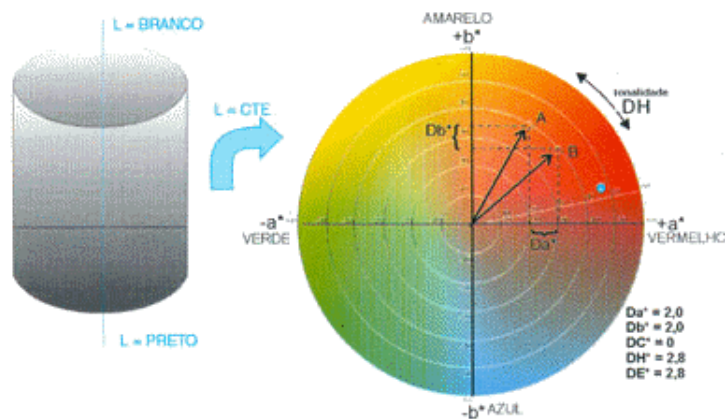


FIGURA 2.5 - Representação do sistema CIELAB (CIELAB, 2004).

A combinação de L^* , a^* , b^* , definem a cor de um objeto, onde a variação de cor ΔE^* depende da variação no eixo a^* , chamado de Δa^* , no eixo b^* , chamado de Δb^* , e no eixo L^* , chamado de ΔL^* . Estas coordenadas podem ser simétricas, com os mesmos valores no sentido positivo ou negativo, ou então assimétricas, quando se pode permitir variações para determinada cor.

Sendo o ΔE^* um número que determina a diferença total de cor entre o padrão e a amostra, é comumente usado como parâmetro de aprovação ou reprovação de cores, sendo calculado por:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

A partir do esclarecimento deste parâmetro, conseguiremos melhorar a qualidade do produto no mercado através dos métodos de quantificação das cores dos alimentos. Outros sistemas de medida de cor podem ser usados e transformados no sistema CIELAB.

A polpa de carambola é um alimento cuja cor é fundamental para a comercialização do produto e que apresenta certa dificuldade na sua aparência, por possuir cor translúcida e partículas em suspensão.

A cor da polpa dá a primeira impressão e ajuda o consumidor na decisão sobre sua aceitação ou rejeição. A indústria de sucos dá maior importância à estabilidade e comportamento reológico do produto, já que estes têm influência direta sobre o aparecimento de incrustações nos equipamentos, além de caracterizar a viscosidade e a textura da polpa. Estas prioridades garantem indiretamente a sua cor, satisfazendo o consumidor em adquirir um produto de qualidade.

2.6 Reologia

A Reologia é uma Ciência que surgiu no início do século XX e tem como principal propósito o estudo das deformações e do escoamento dos materiais, como indicado pelos radicais de origem grega *rheos* (fluir) e *logos* (estudo). Seu objetivo consiste no estudo do comportamento mecânico da matéria, ou seja, no estabelecimento de relações entre as forças aplicadas e as deformações resultantes (MACOSCO, 1994).

Na área de alimentos as propriedades reológicas são utilizadas no controle de qualidade, avaliação da textura, projetos de controle e processos e determinação da estrutura do alimento, incluindo mudanças físico-químicas que ocorrem durante o processamento e armazenamento (ALVARADO & AGUILERA, 2001).

O dimensionamento de equipamentos para processamento de derivados de frutas, quer sejam sucos ou polpas, envolve problemas relativos ao seu escoamento (QUEIROZ *et al.*, 2000), e ter-se o conhecimento do comportamento reológico é útil não só para o controle de qualidade do produto, mas principalmente para a adequação correta de sistemas de tubulação, trocadores de calor, filtros, bombas, entre outros. Em se tratando de sucos de frutas, alguns de seus constituintes têm especial influência sobre o seu comportamento reológico, sendo um deles representado pelos sólidos insolúveis suspensos, conforme os trabalhos de Vidal & Gasparetto (2000), trabalhando com polpa de manga; Queiroz *et al.* (2000), trabalhando com suco de abacaxi; Pelegrine *et al.* (2000) estudando polpas de manga e abacaxi; Branco & Gasparetto (2003) em trabalho sobre mistura ternária de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura; Vidal *et al.* (2004) estudando polpa de manga.

Os alimentos fluidos, devido à sua grande variedade em estrutura e composição, apresentam características reológicas que vão desde um simples comportamento newtoniano a um não-newtoniano que pode ou não ser dependente do tempo, bem como viscoelástico. Um tipo de alimento com comportamento newtoniano pode mudar a não-newtoniano, dependendo de sua origem, concentração de sólidos e outras propriedades relacionadas a interações moleculares (ALVARADO & AGUILERA, 2001).

Macosco (1994), descreveram que o comportamento reológico dos fluidos está dividido em newtonianos e não-newtonianos, sendo os newtonianos caracterizados por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido. Os fluidos não-newtonianos são os fluidos inelásticos, dependentes ou independentes do tempo, de modo que, os independentes não são afetados pelo histórico anterior de cisalhamento. Estes são classificados como pseudoplásticos. Macosco (1994) salienta a importância do conhecimento do comportamento reológico dos derivados de frutas, que deve ser utilizado nos parâmetros de qualidade, de avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos.

Trifiró *et al.* (1987) relataram que sucos e purês de frutas são fluidos pseudoplásticos sendo o afastamento do comportamento newtoniano determinado pelo teor de polpa, de modo que, sucos despulpados se comportam como newtonianos. O comportamento reológico é afetado pelo teor de sólidos da polpa, por ação enzimática ou mesmo mecânica, desde que modifiquem a estrutura da polpa. Tanglertpaibul & Rao (1987) reportaram que o comportamento reológico de sucos e purês de frutas também está ligado aos teores de sólidos solúveis em suspensão, sendo uma função da forma, tamanho, concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema. As referências que tratam da reologia de derivados de frutas estabelecem que a temperatura, a concentração de sólidos solúveis, o teor de pectina e de sólidos insolúveis são os principais responsáveis pelo comportamento reológico (QUEIROZ, 1998).

O modelo reológico mais largamente utilizado para descrever o escoamento de fluidos não newtonianos é o modelo da Lei da Potência. É recomendado para fluidos que iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera a tensão inicial característica de cada um desses fluidos (QUEIROZ, 1998). São exemplos de modelos reológicos:

- Bingham - $\tau = \tau_0 + \eta_{\infty} \cdot \dot{\gamma}$;
- Herschel-Bulkley - $\tau = \tau_0 + K \cdot (\dot{\gamma})^n$;

- Mizrahi-Berk - . $\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \cdot \gamma^{nM}$.

Holdsworth (1971) afirma que a maioria dos fluidos alimentícios apresenta comportamento pseudoplástico, cuja viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação. Para Jiménez & Durán (1979) a reologia, ou consistência de líquidos newtonianos semelhantes à água, leite ou suco de frutas clarificados, pode ser simplesmente caracterizada pelo termo viscosidade, estando de acordo com Lewis (1993), que define viscosidade como a consequência dos atritos internos na massa dos fluidos, representando resistência ao escoamento.

Os fluidos newtonianos apresentam relação linear entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento e, a equação matemática que descreve um fluido newtoniano está representada pela Equação 1:

$$\tau = \mu \cdot \gamma \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- τ = tensão de cisalhamento [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2} = \text{Pa}$]
- γ = taxa de deformação [s^{-1}]
- μ = viscosidade absoluta [$\text{Pa} \cdot \text{s}$].

2.6.1 Reologia e viscosidade

A viscosidade é considerada a principal propriedade reológica de um fluido. Em muitas operações das indústrias de alimentos, conhecer a viscosidade do fluido é essencial para a definição do equipamento mais apropriado.

No processamento de alimentos, a medição da viscosidade permite controlar a qualidade das matérias-primas, avaliar o efeito das variações nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação e estimar o produto final. Essa medição constitui uma valiosa informação para otimização das propriedades dos produtos na indústria alimentícia, para a redução dos custos nos ingredientes e para garantir uma melhor consistência do produto.

A viscosidade pode mudar consideravelmente em algumas operações, em particular, nos processos que envolvem aquecimento, resfriamento, homogeneização e concentração, bem como durante fermentações industriais (LEWIS, 1993).

A viscosidade pode ser definida como o atrito interno de um fluido. A viscosidade representa, qualitativamente, a resistência de um material ao fluxo e, quantitativamente, é definida como o coeficiente entre a força de cisalhamento em fluxo estacionário (SKELLAND, 1967).

O termo viscosidade é comumente utilizado para fluidos Newtonianos, enquanto para fluidos Não-Newtonianos o termo mais apropriado a se utilizar é viscosidade aparente, a qual depende somente da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento.

2.6.2 Comportamento reológico de suspensões

As suspensões podem ser definidas como misturas do tipo sólido-líquido formando um conjunto de partículas distribuídas de forma relativamente uniforme através de um meio líquido, sem que haja dissolução significativa do material particulado (PANDOFELLI, 2000). Se uma partícula em um fluido atua como uma barreira ao escoamento do líquido as linhas de fluxo contornam a partícula, como mostrado na Figura 2.6.

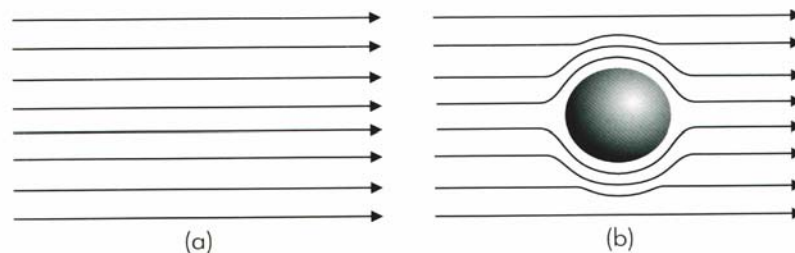


FIGURA 2.6 – Desenho Esquemático indicando o efeito da presença de uma partícula esférica sobre as linhas de fluxo de um fluido submetido ao cisalhamento: (a) fluido isento de partícula e (b) fluido contendo partícula (PANDOFELLI, 2000).

Esta barreira imposta pela partícula causa uma elevação na viscosidade da suspensão, pois o líquido deixa de se deslocar através das lâminas paralelas, como no regime laminar, e passa a formar linhas de fluxo curvas que contornam a partícula, e esta dificuldade será maior quanto maior for o número de partículas na suspensão (PANDOFELLI, 2000).

Em baixas concentrações (menores que 5% em volume), a seqüência de colisões entre as partículas é relativamente baixa, permitindo que a viscosidade da suspensão seja

constante em função da taxa de cisalhamento. Neste caso, a concentração das partículas, as características do meio líquido, tais como viscosidade e densidade, e a temperatura são os principais fatores para o estabelecimento da viscosidade da suspensão.

Com a elevação do percentual do sólido, as partículas passam a interagir entre si. O comportamento reológico desvia-se do newtoniano e passa a depender também de diversas variáveis, destacando-se:

- as características físicas das partículas, como a distribuição de tamanho partícula, densidade, formato, área superficial específica, rugosidade superficial, etc.;
- o tipo de interação entre as partículas (eficiência de empacotamento, forças atrativas e repulsivas) (PANDOFELLI, 2000).

Com o incremento destas diversas variáveis, as suspensões passam a apresentar uma ampla gama de comportamentos (KOBAYASHI *et al*, 2001), que podem ser expressos por diferentes curvas de tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$), ou pela viscosidade aparente (η) em função da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$). Diferentes modelos são melhor mostrados na Tabela 2.2 (SILVA & BUECHNER, 1997).

TABELA 2.2 – Resumo dos principais tipos de comportamentos e seus modelos de dimensionamento

		Nome	Modelo	
Independentes da agitação		Newtonianos	$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$	$\eta = \text{cte.}$
Dependentes da agitação	Independentes do tempo	Pseudoplásticos	$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$	$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \quad n < 1$
		De bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_{\infty} \cdot \dot{\gamma}$	$\tau = \tau_0 / \dot{\gamma} + \eta_{\infty}$
		Dilatantes	$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$	$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \quad n > 1$
		Dependentes do tempo		Tixotrópicos
		Reopéticos	-	

Entre as características já descritas, a de interesse mais imediato para o setor industrial sem dúvida é a concentração de sólidos. Obter uma suspensão estável com elevada fração de sólidos diminui sensivelmente os custos do produto produzido. Rao (1986), estudou a influência da concentração de sólidos e da temperatura sobre a viscosidade de concentrados despectinizados e filtrados de sucos de maçã e uva, onde

observou que a uma temperatura constante, a concentração de sólidos pode ser descrita com uma relação exponencial.

Em estudos feitos por Einstein (1906, 1911) foi visto que a partir de observações sobre a viscosidade relativa (η_R), de soluções muito diluídas definidas como a razão entre a viscosidade da suspensão e a viscosidade do meio (η/η_0), que ela dependia diretamente da fração volumétrica de sólidos (V_s).

Metzner & Krieger-Dougherty sustentam que a viscosidade relativa é ainda dependente da fração volumétrica de sólidos que a suspensão pode suportar (RAO, 1999).

Os modelos desenvolvidos por estes autores são muito utilizados para descrever o comportamento reológico das suspensões, desde que se conheça a concentração máxima de sólidos que o fluido pode suportar, entretanto é importante lembrar que todos os fatores anteriormente descritos que definem a viscosidade relativa (η_R), interferem na fração volumétrica de sólidos (V_s) e na máxima fração volumétrica de sólidos (V_{sm}).

2.6.3 Aplicação de modelos reológicos para sucos e polpas de frutas

Muitos estudos sobre o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas estão sendo feitos.

Gomes *et al.* (2001) estudaram o comportamento de propriedades físicas, químicas e reológicas do suco de acerola armazenado a baixa temperatura, e verificaram que a viscosidade, seguida da vitamina C, apresentaram as maiores variações nos genótipos e que todos os genótipos estudados apresentaram comportamento não-newtoniano e pseudoplástico.

Ferreira *et al.* (2002), estudaram o efeito da temperatura no comportamento reológico de polpas de caju e goiaba, verificando que o comportamento da polpa de goiaba nas temperaturas de 10 °C a 60 °C pode ser representado pela equação de Mizrahi-Berk. O comportamento reológico da polpa de caju apresentou dispersão dos resultados experimentais em todas as temperaturas estudadas. Pelegrine *et al.* (2002) estudaram a viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola) e verificaram que todas as polpas apresentaram comportamento pseudoplástico, sendo a pseudoplasticidade maior para as polpas integrais.

Vidal *et al.* (2004) estudaram o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangifera indica L–Keitt*) e verificaram que com o aumento da temperatura observa-se um aumento no índice de comportamento e uma diminuição no índice de

consistência, indicando que as polpas perdem pseudoplasticidade e ficam menos viscosas à medida em que a temperatura aumenta. Foi verificado que a viscosidade diminuiu com a temperatura até 40 °C e para temperaturas de 50 °C e 60 °C foi observado um aumento da viscosidade.

Nindo *et al.* (2004) em estudo sobre a viscosidade de sucos concentrados de uvas encontraram comportamento newtoniano para estes dois sucos, e seus modelos matemáticos dependem somente do conteúdo de sólidos e das temperaturas utilizadas. As propriedades reológicas foram determinadas com um conteúdo de sólidos de 65 ° Brix e temperaturas de 20 e 60 °C.

Tiziani & Vodovotz (2005) em estudo realizado sobre o efeito das propriedades reológicas devido à adição de proteína de soja em suco de tomate, reportaram que o fluido apresentou-se em uma fase de transição de tixotrópico a reopéxico, que pode ter ocorrido devido à formação de agregados durante o aquecimento do fluido.

Ao estudar o efeito da concentração sobre as propriedades físicas de suco de caju, Azoubel *et al.* (2005) verificaram que as propriedades físicas dependem diretamente da concentração, com a viscosidade aumentando à medida que aumenta o conteúdo de sólidos solúveis. Para o suco de caju, verificaram comportamento não-newtoniano características pseudoplásticas.

2.6.4 Reologia das suspensões

Uma suspensão de partículas sólidas em um meio líquido deve apresentar um comportamento reológico intermediário entre o sólido e o líquido.

Os fatores da fase sólida que influem diretamente nas características reológicas da suspensão são:

- concentração volumétrica de sólidos;
- distribuição de tamanhos de partículas;
- formato das partículas;
- distância de separação entre as partículas (IPS, *inter-particle spacing*);
- existência e magnitude das forças de atração e repulsão entre elas.

A viscosidade tem sido relacionada à distância de separação entre as partículas presentes nas diferentes suspensões. Uma suspensão pode ser fisicamente idealizada como sendo constituída de duas parcelas de água. Uma parcela é utilizada para recobrir a superfície das partículas e ocupar os interstícios entre elas (Figura 2.7a). A parcela restante

fica disponível para promover a separação entre as partículas, formando uma camada de água de espessura d (Figura 2.7b).

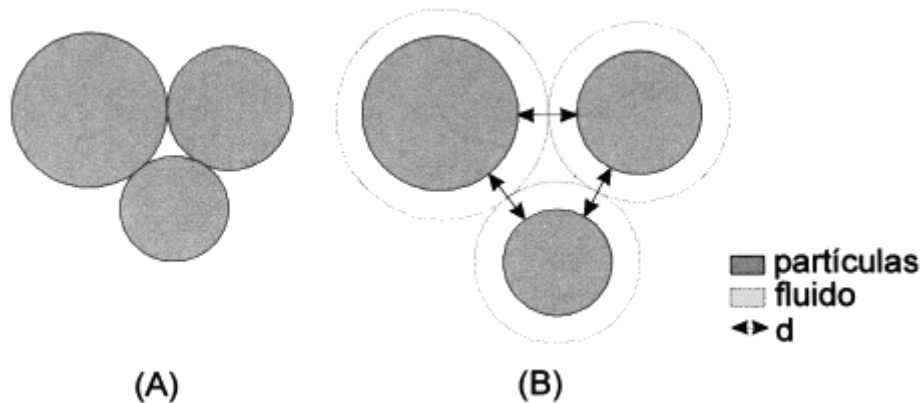


FIGURA 2.7 - Desenho esquemático da parcela de água ocupada no reconhecimento da superfície e preenchimento dos interstícios entre partículas em contato (a), e da parcela que promove a separação entre as partículas da suspensão (b) (ORTEGA, 1999).

Dependendo da fração volumétrica da fase sólida a suspensão terá maior ou menor facilidade de atingir a estabilidade. Quanto maior a fração de sólidos, maior será sua viscosidade e menor a faixa de trabalhabilidade (MARTINS, 2001).

Assim como a distribuição de tamanho das partículas determina as características reológicas da suspensão, o contrário também acontece. As características reológicas da suspensão colaboram para a definição da curva de distribuição de tamanho de partículas, bem como seu empacotamento final (figura 2.8) (PANDOFELLI, 2000).

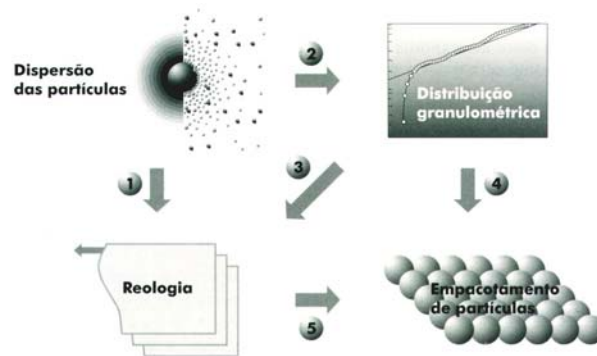


FIGURA 2.8 – Diagrama esquemático indicando a influência da dispersão das partículas e da distribuição granulométrica sobre as características reológicas e de empacotamento das partículas, evidenciando a sinergia entre essas variáveis (PANDOFELLI, 2000).

Uma suspensão coloidal estabilizada (sol) ou coagulada (gel), são caracterizadas pela predominância das forças de atração ou repulsão entre suas partículas, o que é descrito pela teoria DVLO (MACOSCO, 2001), que se utiliza do equilíbrio entre as forças de

repulsão e de atração eletrostática de Van der Waals para explicar porque há aglomeração de alguns sistemas coloidais e de outros não.

A teoria DVLO se baseia no equilíbrio entre as forças opostas de repulsão eletrostática e atração de Van der Waals e explica porque alguns sistemas coloidais se aglomeram, enquanto outros não.

A repulsão eletrostática começa a ser importante quando os colóides se aproximam o suficiente para sofrerem interferência da dupla capa. Uma curva de energia indica a força necessária para que as partículas se unam. A atração de Van der Waals em suspensões, certamente é resultado da força individual de atração ou repulsão de cada partícula do colóide, e este efeito é aditivo. Se uma molécula sofre atração de uma partícula, isto se repete nas outras partículas, e a força atrativa total será a somatória da força individual de cada partícula (MACOSCO, 2001).

2.6.5 Mecanismos de estabilização de suspensões

A estabilidade das suspensões é diretamente dependente do modo como as partículas interagem durante o momento de colisão. Uma possibilidade é a formação de aglomerados de partículas. Esses aglomerados são estruturas porosas formadas pela união de diversas partículas primárias que, quando presentes na suspensão, podem absorver parte da água ou do líquido originalmente para a separação das partículas.

Para sistemas não estabilizados de sucos de frutas, a sedimentação dos aglomerados é favorecida, promovendo uma rápida separação entre as fases sólidas e líquidas da suspensão, prejudicando a homogeneidade e estabilidade da suspensão. A Figura 2.9 ilustra o fenômeno de sedimentação de partículas para suspensões (a) dispersas e (b) aglomeradas.

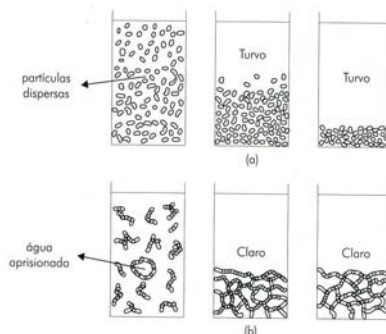


FIGURA 2.9 – Fenômeno de sedimentação de partículas em suspensões dispersas (a), e aglomeradas (b) (PANDOFELLI *et al.*, 2000).

Verifica-se que a redução da distância entre as partículas finas provocadas pelo aprisionamento de água ou líquido no interior dos aglomerados, eleva o número de colisões entre elas e, com isso, a viscosidade da suspensão. Além disso, os aglomerados podem ser considerados unidades significativamente maiores que as partículas primárias que as originam e, por isso, causam uma maior perturbação das linhas de fluxo do líquido durante o escoamento da suspensão, aumentando sua viscosidade.

A estabilidade das suspensões pode ser obtida através de mecanismos de estabilização como:

Estabilização eletrostática – é gerada através do desenvolvimento de cargas elétricas na partícula em decorrência da interação da sua superfície com o meio líquido (Figura 2.10a).

Estabilização estérica – atua através da adsorção superficial de moléculas poliméricas que dificultam a aproximação de outras partículas por impedimento mecânico. É conveniente observar que o uso de polímeros de elevado peso molecular ocasiona um efeito oposto, a floculação. Isto acontece devido a um emaranhamento das partículas que passam a se comportar como aglomerados facilitando o processo de decantação (Figura 2.10b).

Estabilização eletroestérica – ocorre devido à adsorção superficial de moléculas com grupos ionizáveis ou polieletrólitos. Forma-se uma nuvem de grupos ionizáveis ao redor de cada partícula, conhecida como dupla camada elétrica. À medida que a partícula se movimenta, a nuvem de íons é arrastada junto com ela, de modo que a repulsão eletroestérica entre estas nuvens soma uma barreira eletrostática ao efeito estérico. Todos estes fenômenos alteram a interface partícula/líquido do sistema, promovendo a dispersão da suspensão (ORTEGA *et al.*, 1997).

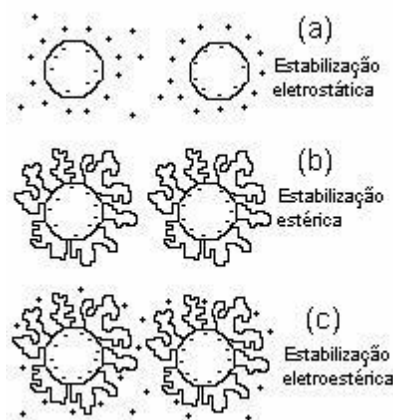


FIGURA 2.10 – Mecanismos de estabilização de suspensões: (a) através de cargas nas superfícies das partículas, (b) da adsorção de moléculas poliméricas e (c) da adsorção de moléculas ionizadas ou polieletrólitos (ORTEGA *et al.*, 1997).

Capítulo 3

ESTUDO DO RENDIMENTO E COR DE POLPA DE CARAMBOLA (*AVERRHOA CARAMBOLA L.*)

RESUMO

Atualmente, os consumidores estão se tornando cada vez mais exigentes ao escolher produtos ou marcas, sendo principalmente induzidos pelas qualidades visuais. Por isso, é muito importante conhecer os alimentos não só do ponto de vista dos parâmetros físico-químicos, como também da aceitabilidade, a qual encontra-se diretamente ligada à qualificação tecnológica adequada. A cor, em virtude da aceitação visual é uma das características sensoriais mais importantes para a comercialização, mas devido à falta de equipamentos específicos, que necessitam de grande investimento, muitas vezes este parâmetro não é estudado. Este trabalho tem como objetivo o estudo do rendimento da polpa de carambola obtida em laboratório, e estudo da cor da mesma em sua forma *in natura*, tratada enzimaticamente e pasteurizada, após estocagem congelada. Foi observado que a polpa tratada com Pectinex Ultra SP-L, a 55 °C por 1 h, apresenta rendimento de 90,80 % de polpa, com redução de 5,5 % de resíduos gerados. A pasteurização da polpa, a 100 °C por 10 min, foi o fator que permitiu a aceitação visual, já que a utilização do calor inativa a enzima polifenol oxidase presente em frutas e vegetais, a qual é responsável pelo escurecimento enzimático. A polpa pasteurizada apresentou cor clara e luminosa após 6 meses de estocagem, caracterizada pelo sistema CIELAB. A homogeneização da polpa mostrou diferença significativa de cor apenas para a polpa *in natura* ($\Delta E > 5$).

Palavras-chave: rendimento; extração; carambola; cor.

ABSTRACT

Consumers are demanding more and more quality in the market products, and the visual characteristics are the main attributes considered. For this reason, it is very important to evaluate food, not only by the point of view of the chemical and physical parameters, but also by the acceptance, which is directly connected to the technological qualification. Color gives the guidelines to the visual approval, and is one of the sensory characteristics most important

to the commercialization. However, as it requires specific and expansive equipments, many times it is a non studied parameter. This work aims to evaluate the recovery of the extraction process of the star fruit pulp produced in the lab, and compare the color of the crude, enzyme treated and pasteurized pulp, after frozen storage. Pulp treated using Pectinex Ultra-SP, at 55 °C for 1 hour, showed a recovery of 90,80 % with a reduction of 5,5 % of the residues, compared to the non treated pulp. Pasteurized pulp at 100 °C for 10 minutes gives a good visual acceptance, due to the inactivation of the polyphenol oxidase. Pasteurized pulp showed a luminous and clear color, characterized by the CIELAB system, even after storage of 6 months. Homogenization step of the star fruit pulp did not show significant color difference, compared to the other operations.

Key words: star fruit; recovery; color; extraction; pulp; juice.

3.1 INTRODUÇÃO

Segundo Maturra & Rolim (2002), o hábito do consumo de sucos e polpas de frutas industrializadas tem aumentado, motivado pela falta de tempo da população no preparo dos mesmos, pela praticidade oferecida e a preocupação com o consumo de alimentos saudáveis, os quais substituem cada vez mais a ingestão de bebidas carbonatadas acarretando grandes benefícios à saúde da população, pois os mesmos apresentam valor nutritivo mais elevado. Os autores ressaltam que as frutas consistem em fonte nutricional de vitaminas, minerais e carboidratos solúveis, sendo que algumas possuem teor mais elevado de um ou de outro nutriente.

A pectinase ajuda na hidrólise da pectina, causando uma redução na viscosidade da polpa e um significativo aumento na produção de sucos. Pectinesterase (PME) e poligalacturonase (PG) são pectinases que liberam ácidos carboxílicos e ácidos galacturônicos durante o tratamento térmico, o que causa uma redução no pH da polpa (BASTOS *et al.*, 2002).

A produção de sucos turvos é significativamente afetada pela temperatura e tempo usado no tratamento enzimático. A pectinase remove pedaços da capa de pectina da partícula de turvação do suco e isso possibilita a agregação de diversas partículas com uma densidade maior e, portanto, mais fáceis de serem removidas por decantação e/ou centrifugação (ENZYMES, 2004).

Os processos ambientalmente saudáveis requerem tecnologias mais limpas, com a minimização de resíduos gerados pelas indústrias, os quais muitas vezes são descartados diretamente no meio ambiente, sem qualquer tipo de tratamento.

Com a utilização da enzima pectinase obtém-se rendimentos superiores do produto final, acarretando um custo de produção menor e conseqüentemente, resíduos descartados no meio ambiente em proporções menores, pois os processos de tratamento dos resíduos descartados são muito onerosos para à indústria e prejudiciais ao meio ambiente.

Com a finalidade de obter maior rendimento na extração da polpa, assim como uma quantidade menor de resíduos gerados durante a etapa de filtração, foi estudado o uso de enzima pectinolítica (pectinex) na polpa de carambola. Esta enzima é responsável pela degradação da pectina, possibilitando um maior rendimento durante a filtração, além de um produto final mais límpido (clarificado).

Nos dias de hoje, uma indústria só se desenvolve adequadamente se apresentar rendimentos satisfatórios e resíduos mínimos, os quais, para melhor aproveitamento da matéria prima, ainda deverão ser transformados em subprodutos.

A cor dos alimentos, e outros aspectos de sua aparência, dão a primeira impressão e ajudam o consumidor na decisão sobre sua aceitação ou rejeição. A maioria dos alimentos apresentam uma coloração própria, bem característica e quando a cor ou aparência desviam-se muito do esperado o consumidor os rejeita.

O escurecimento enzimático em vegetais está relacionado à ação das polifenol oxidases e peroxidases, que utilizam compostos fenólicos como substratos (ROBARDS *et al.* 1999), cuja intensidade da reação é variável durante o crescimento, desenvolvimento e maturação dos frutos (SILVA, 2000).

Das enzimas que oxidam aqueles compostos, as polifenol oxidases se associam a dois tipos de reações seqüenciais. Na primeira, as enzimas, denominadas monofenol mono-oxigenases hidroxilam um monofenol para formar um o-difenol incolor. A reação seguinte, referida como atividade catecolase é a oxidação do o-difenol em compostos de cor ligeiramente amarela, as o-quinonas (MURATA *et al.*, 1995; SILVA, 2000).

Este processo ocorre no escurecimento de frutas e de certos vegetais onde a quinona rapidamente se condensa, formando pigmentos escuros insolúveis, denominados melanina, ou reage não-enzimaticamente com outros compostos fenólicos, aminoácidos e proteínas, formando também melanina (ARAÚJO, 1995). A enzima polifenol oxidase é encontrada em praticamente todos os tecidos vegetais e sua atividade pode ser diferenciada em função do tipo e variedade da fruta, estágio de maturação e das condições de cultivo.

As reações de escurecimento enzimático ocorrem no tecido vegetal quando há ruptura da célula e a reação não é controlada, embora no tecido intacto de frutas e vegetais, possa também ocorrer o escurecimento. A reação de escurecimento em frutas e vegetais é um dos principais problemas na indústria de alimentos, pois a ação da enzima polifenol oxidase resulta na formação dos pigmentos escuros, freqüentemente acompanhados de

mudanças indesejáveis na aparência e nas propriedades organolépticas do produto, resultando na diminuição da vida útil e do valor de mercado (FATIBELLO & VIEIRA, 2001).

Os principais métodos empregados para evitar o escurecimento enzimático são a inativação da enzima através da redução do pH ou aquecimento, a eliminação do oxigênio e o emprego de agentes químicos que atuam sobre a enzima ou produtos intermediários do processo de formação do pigmento (ARAÚJO, 1995).

Apesar de ter grande importância, muitas vezes a avaliação da cor não é devidamente estudada, porque para sua realização são necessários equipamentos específicos, os quais possuem preços elevados.

A cor é uma percepção visual resultante da detecção da luz após interação com um objeto (ABNT, 1992; LAWLESS & HEYMANN, 1998). De acordo com Alvarado & Aguilera (2001), define-se cor, no sentido físico, como a distribuição de energia de uma luz refletida ou transmitida por um objeto, material ou substância. Esta energia está dentro do espectro eletromagnético contínuo, em intervalos que vão desde comprimentos de onda (λ) de 10^{-5} nm até 10^{17} nm. A cor de um alimento é influenciada pela absorção da luz da superfície do objeto (HUNTERLAB, 2004).

No sistema CIELAB a cor é descrita por um diagrama tridimensional, onde o espaço é definido pelas coordenadas retangulares, luminosidade (L^*), componente vermelho-verde (a^*) e componente amarelo-azul (b^*), e pelas coordenadas cilíndricas do mesmo espaço, croma (C^*) e tonalidade cromática (H^*) (CIELAB, 2004).

O impacto visual gerado pela cor, muitas vezes, se sobrepõe ao causado por outros atributos de aparência e odor (CARDOSO *et al*, 1997), e ainda pode apresentar efeito na própria intensidade com que é percebido o sabor (CHAN & MARTINELLI, 1997).

Atualmente, os consumidores tornam-se cada vez mais exigentes ao escolher produtos ou marcas, principalmente induzidos pelas qualidades sensoriais. Portanto, é muito importante conhecer os alimentos não só do ponto de vista dos parâmetros físicos e químicos, como também da aceitabilidade sensorial, a qual encontra-se ligada ao processo tecnológico.

O presente trabalho tem como objetivo fazer a comparação do rendimento do produto final e da geração mínima de resíduos sólidos na produção de sucos via enzimática e convencional, bem como avaliar a cor do produto obtido nas diferentes etapas de processamento, quando submetido a armazenamento a -18°C .

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Extração da polpa

A obtenção da polpa de carambola e os diferentes tratamentos a que foi submetida são mostrados na Figura 3.1, que traz um fluxograma dos processos utilizados.

A carambola utilizada no presente trabalho, proveniente do Estado de São Paulo, safra de 2003, plantada em solo areno-argiloso, foi adquirida no mercado local, em quantidade suficiente para os testes propostos.

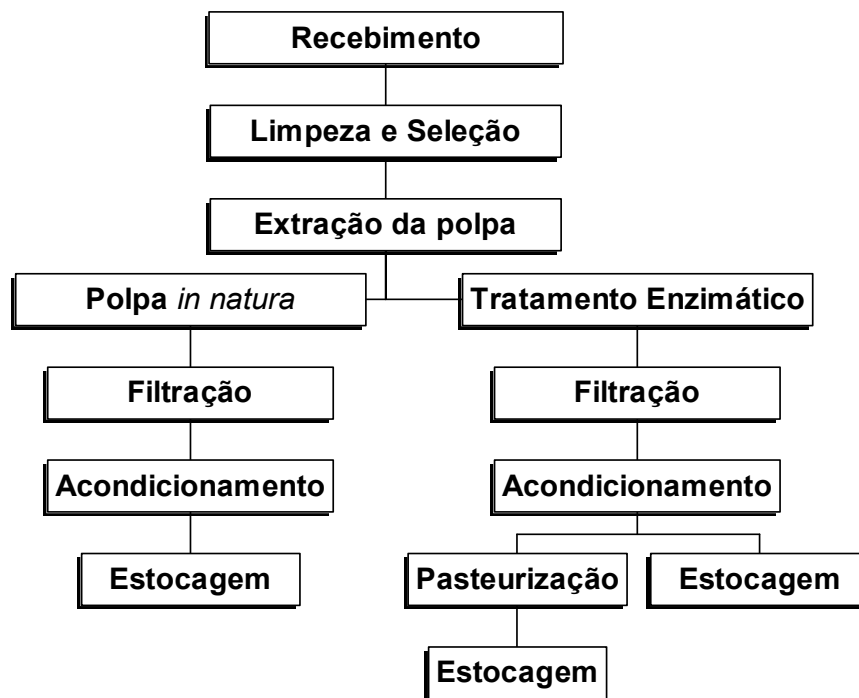


FIGURA 3.1: Fluxograma da produção de polpa de carambola pelos métodos convencional e enzimático.

A fruta foi selecionada por coloração, de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação. As frutas foram limpas e colocadas em água destilada com 0,5 g/kg de ácido ascórbico, e a polpa foi extraída em despulpadeira Brameitar com peneira de 2 mm. Parte da polpa *in natura* foi congelada a -18 °C para ser usada como padrão. A outra parte foi submetida a tratamento enzimático com enzima Pectinex Ultra-SPL (Novozymes), à concentração de 1 mL/L, à temperatura de 50-55 °C por uma hora, seguida de filtração em filtro dessorador da Brasholanda 50µm.

A polpa foi então acondicionada em sacos de polietileno, fechado em seladora a quente. Parte desta polpa foi congelada, e a outra parte foi pasteurizada a 100 °C por 10 minutos, e congelada para análises posteriores.

Estas três amostras, *in natura*, tratada enzimaticamente e pasteurizada, foram submetidas à homogeneização em homogeneizador Ultra Turrax a 11000 rpm/2 min e 22000 rpm/5min.

3.2.2 Cálculo do rendimento

O rendimento foi calculado para as polpas *in natura* e tratada enzimaticamente. Os resíduos obtidos através dos dois tratamentos foram quantificados de acordo com:

$$\eta = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Onde:

η = rendimento (%);

m_i = volume de polpa obtida (mL);

m_f = volume da polpa obtida após filtração (mL).

3.2.3 Análise da Cor

Amostras de polpa de carambola, estocadas a -18 °C por 6 meses, foram analisadas segundo os três tratamentos aplicados:

- Tratamento 1: polpa *in natura*;
- Tratamento 2: polpa tratada enzimaticamente;
- Tratamento 3: polpa tratada com enzima e pasteurizada

Para o estudo da cor, as polpas de carambola foram centrifugadas durante 15 min a 15000 rpm para decantar as partículas em suspensão. O líquido sobrenadante foi submetido à determinação de cor por método triestímulo (STANDARD METHODS, 1976), utilizando-se varredura no espectro visível (414 a 714 nm) em espectrofotômetro Spectronic Unicam (Genesys 10VIS). As coordenadas X, Y, Z obtidas foram convertidos para o sistema CIELAB através do programa “Color Metric Converter” (COLORPRO, 2004), obtendo-se os valores de L*, a* e b*.

A partir destes dados, foram calculadas as diferenças de cor (ΔE^*) para estes parâmetros, de acordo com as seguintes equações:

$$\Delta L^* = L_{\text{amostra}} - L_{\text{padrão}}$$

$$\Delta a^* = a_{\text{amostra}} - a_{\text{padrão}}$$

$$\Delta b^* = b_{\text{amostra}} - b_{\text{padrão}}$$

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Rendimento da Polpa

Os resíduos gerados durante a etapa de filtração, bem como o rendimento calculado para as polpas obtidas pelo método convencional e com adição da enzima pectinase estão mostrados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1: Rendimento(%) e resíduos(%) das polpas obtidas pelo método convencional e com adição de enzima.

	Polpa Convencional	Polpa com adição de enzima
Produto (mL)	1000	1000
Polpa (mL)	852,60	908
Resíduo (%)	14,74	9,20
Rendimento (%)	85,26 % de polpa	90,80 % de polpa

Através dos resultados obtidos na Tabela 3.1, percebeu-se claramente a diferença dos dois tipos de tratamento da polpa de carambola em relação a quantidade de resíduos e também ao rendimento do suco.

O rendimento da polpa com adição de enzima foi maior que o do suco convencional, devido à ação da enzima pectinase sobre as fibras existentes na polpa de carambola, pois quebram as cadeias poliméricas de carboidratos, tais como pectinas, hemiceluloses e amidos, aumentando assim o rendimento do suco; melhoram o rendimento de substâncias contidas no fruto (ácidos, substâncias que conferem aroma e cor); clarificam os sucos; liquefazem completamente o fruto, aumentando o rendimento em polpa (BASTOS *et al.*, 2002).

A mistura pectinex ultra SP-L é uma mistura de diversas enzimas principalmente a pectinatranseliminase, poligalacturonase e pectinesterase, contendo também adições de hemicelulases e celulasas (NOVOZYMES, 2004). Esta enzima é muito utilizada na indústria de sucos e polpas de frutas, pois atua sobre a molécula de pectina, degradando-a, e com isto facilitando a etapa de filtração, prensagem e clarificação, e, aumentando o rendimento da polpa obtida.

Observa-se que a quantidade de resíduos sólidos gerados para a obtenção da polpa convencional foi de 14,74 % na etapa de filtração, enquanto que a polpa com adição da enzima pectinase gerou 9,20 % de resíduos. Esta diferença de 5,54 % a mais de resíduos gerados na produção da polpa pelo método convencional, implica em grandes perdas para a





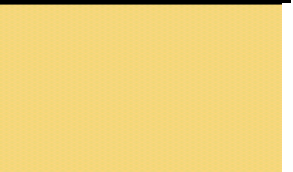
indústria de alimentos e conseqüentemente maiores danos ao meio ambiente, pois na produção visamos maior rendimento com menor descarte de resíduos.

De acordo com Gomes (1989), sabe-se que o resíduo obtido da polpa de carambola é muito rico em proteínas, sais minerais, fibras e vitaminas. Sendo assim, o mesmo poderia ser utilizado pela indústria como um subproduto para evitar prejuízos e, contribuir para a preservação do meio ambiente.

3.2 Análise de Cor

A Tabela 3.2 mostra as imagens selecionadas de acordo com o valor de L^* , a^* , b^* da polpa de carambola nos diferentes tratamentos, podendo-se observar visualmente as diferentes características das polpas analisadas.

TABELA 3.2 – Imagens selecionadas de acordo com o valor de L^* , a^* , b^* da polpa de carambola nos diferentes tratamentos.

	sem homog.	homog. 11000 rpm/2 min	homog. 22000 rpm/5 min
<i>In natura</i>			
Tratada enzimaticamente			
Pasteurizada			

Neste sistema de representação de cor, os valores L^* , a^* e b^* descrevem a uniformidade da cor no espaço tridimensional, onde o valor L^* corresponde a escuro-brilhante (0, preto; 100 branco) e representa a leveza relativa da cor. Os valores de a^* correspondem à escala do verde ao vermelho (a^* negativo, verde; a^* positivo, vermelho) e os valores de b^* correspondem à escala do azul ao amarelo (b^* negativos, azul; b^* positivo, amarelo) (CIELAB, 2004).

É importante ter-se o conhecimento das coordenadas L^* , a^* , b^* pois estas irão posicionar a cor no espaço, e assim poderemos estabelecer padrões para determinadas amostras.

A Tabela 3.3 apresenta estas coordenadas, obtidas nos ensaios das polpas de carambola estudadas.

As amostras foram analisadas em espectrofotômetro e posteriormente, obtiveram-se os valores de L^* , a^* , b^* pelo programa de conversão Color Metric Converter (COLORPRO, 2004), como mostrado na Tabela 3.3:

TABELA 3.3 – Resultados obtidos nos ensaios de cor da polpa de carambola.

Tratamentos									
	<i>in natura</i>			tratada enzimaticamente			pasteurizada		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
L^*	75,92	71,54	70,94	64,62	65	64,65	87,51	89,42	89,42
a	-2,90	-1,12	-0,32	1,64	1,12	1,59	-4,75	-5,00	-4,80
b	37,44	27,92	32,21	47,21	43,14	46,16	49,44	48,97	49,11

Onde: **A** – Polpa *in natura* sem homogeneização; **B** – Polpa *in natura* com Homogeneização de 11000 rpm por 2 min; **C** – Polpa *in natura* com homogeneização de 22000 rpm por 5 min; **D** – Polpa tratada enzimaticamente sem homogeneização; **E** – Polpa tratada enzimaticamente com homogeneização de 11000 rpm por 2 min; **F** – Polpa tratada enzimaticamente com homogeneização de 22000 rpm por 5 min; **G** – Polpa pasteurizada sem homogeneização; **H** – Polpa pasteurizada com homogeneização de 11000 rpm por 2 min; **I** – Polpa pasteurizada com homogeneização de 22000 rpm por 5 min. L^* = luminosidade; a^* = componente vermelho-verde; b^* = componente amarelo-azul; R = vermelho, G = verde; B = azul.

Como pode-se observar na Tabela 3.3, a polpa de carambola pasteurizada possui os maiores valores de L , o que confere a este tratamento uma maior luminosidade do produto. Além disso, a polpa pasteurizada apresentou valor de b^* superior aos demais, sendo este um resultado favorável pois, o componente b^* confere a relação amarelo-azul, portanto, a polpa pasteurizada possui maiores quantidades deste componente o que, junto com o componente L caracteriza a polpa pasteurizada como mais clara e amarelada que as demais. Este é um requisito desejável no processamento de polpas de carambola.

Comparando-se a amostra *in natura* com a pasteurizada, podemos perceber que a amostra *in natura* possui os valores de L^* , a^* e b^* inferiores à amostra pasteurizada conferindo à esta amostra tonalidade mais escura. A preservação na cor da amostra pasteurizada deve-se ao fato de que o processamento térmico inativa a enzima polifenol oxidase presente em frutas, a qual é responsável pelo escurecimento das mesmas.

As amostras da polpa de carambola pasteurizadas foram nitidamente caracterizadas como mais amareladas (maior b^*) dentro de cada tratamento de homogeneização.

Estes resultados podem ser melhor entendidos ao observar-se o sistema de coordenadas CIELAB, mostrado na Figura 3.2.

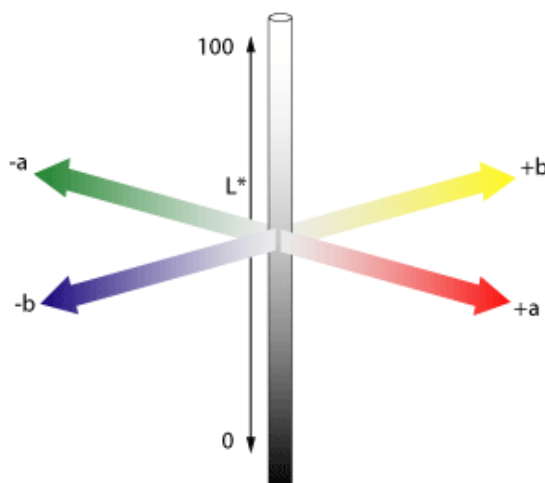


FIGURA 3.2 – Sistema de coordenadas CIELAB (CIELAB, 2004).

Cada tratamento da polpa de carambola foi caracterizado com suas respectivas quantidades dos componentes de L^* , a^* e b^* .

As diferenças de variação no eixo a^* , foi chamada de Δa^* , no eixo b^* , de Δb^* e no eixo L^* , chamado de ΔL^* . O ΔE^* um número que determina a diferença total de cor entre o padrão e a amostra. Considerando-se que a amostra G, pasteurizada não homogeneizada, é aquela que conserva melhor a cor da polpa recém extraída, a diferença de cor ΔE^* foi calculada em relação a ela.

Conhecendo-se os valores de ΔL^* , Δa^* e Δb^* , temos a tendência da amostra em relação à amostra padrão que, neste estudo, é a polpa de carambola pasteurizada não homogeneizada.

A Tabela 3.4 mostra os valores encontrados para estas diferenças de cores nos tratamentos da polpa de carambola.

Observando-se a Tabela 3.4 que nos fornece os valores das diferenças de cor, percebemos que os tratamentos da polpa de carambola *in natura* e adicionada de enzima apresentam-se mais escuros que a amostra padrão. A amostra *in natura* apresenta maior diferença azul-amarelo, enquanto que a amostra tratada enzimaticamente mostra esta diferença no eixo verde-vermelho.

TABELA 3.4 – Diferença de cor entre as amostras analisadas por espectrofotometria.

	Tratamentos								
	<i>In natura</i>			tratada enzimaticamente			Pasteurizada		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ΔL^*	-11,6	-16	-16,6	-22,9	-22,5	-22,9	0	1,91	1,91
Δa^*	1,85	3,63	4,43	6,4	6,12	6,34	0	-0,25	-0,05
Δb^*	-12	21,52	-17,23	-2,23	-6,3	-3,3	0	-0,5	-0,33
ΔE_G^*	16,8	27,06	24,33	23,88	24,15	24	0	2	1,94
$\Delta E_{\text{homog}}^*$	0	16,30	7,67	0	4,12	1,05	0	2	1,94

Onde: **A** – Polpa *in natura* sem homogeneização; **B** – Polpa *in natura* com Homogeneização de 11000 rpm por 2 min; **C** – Polpa *in natura* com homogeneização de 22000 rpm por 5 min; **D** – Polpa tratada enzimaticamente sem homogeneização; **E** – Polpa tratada enzimaticamente com homogeneização de 11000 rpm por 2 min; **F** – Polpa tratada enzimaticamente com homogeneização de 22000 rpm por 5 min; **G** – Polpa pasteurizada sem homogeneização; **H** – Polpa pasteurizada com homogeneização de 11000 rpm por 2 min; **I** – Polpa pasteurizada com homogeneização de 22000 rpm por 5 min; ΔE_G^* = ΔE^* calculado em relação à amostra pasteurizada; $\Delta E_{\text{homog}}^*$ = ΔE^* calculado em relação à amostra não-homogeneizada naquele tratamento.

Podemos perceber também que a homogeneização não teve forte influência sobre a cor, cujos valores de ΔE^* são menores que 5, para as polpas tratada enzimaticamente e pasteurizada. A cor é influenciada predominantemente pela ação da enzima polifenol oxidase presente na polpa *in natura* e tratada enzimaticamente, sendo a principal responsável pela deterioração da qualidade avaliada pela cor em muitos frutos congelados (CANO *et al.*, 1995).

Ao comparar-se os valores de ΔE^* das amostras, percebe-se que não há diferença visual de cor nos tratamentos com variação de cor inferiores a 5, portanto, supõe-se que as características de cor são similares para estes tratamentos.

Estas enzimas podem participar de um grande número de reações oxidativas e de biodegradação, tais como mudança de cor, degradação da clorofila, oxidação de fenóis, e muitos destes fatores também podem ser associados com *flavour*, cor, textura e qualidade nutricional dos alimentos (SOUTO *et al.*, 2004). Elas são responsáveis pelo escurecimento em frutas e vegetais e seus produtos processados (COELHO *et al.*, 2002). Estas enzimas podem ser inativadas na presença de calor, como a pasteurização utilizada nos processos industriais, evitando assim o escurecimento enzimático dos sucos e polpas de frutas.

As reações de escurecimento ocorrem no tecido vegetal quando há ruptura da célula e a reação não é controlada. Esta reação de escurecimento em frutas e vegetais é um dos principais problemas para a indústria de alimentos, pois a ação da enzima polifenol oxidase

resulta na formação dos pigmentos escuros observados. Avalloni *et al.* (2003) afirma que este escurecimento é acompanhado de mudanças indesejáveis na aparência e propriedades organolépticas do produto.

A polifenol oxidase é uma enzima termolábil, sendo que, um curto período de tempo à temperatura de 70 a 90°C é suficiente para destruição completa de suas funções catalíticas. A aplicação do calor em alimentos inativa a polifenol oxidase, e este aquecimento é muito utilizado em pré-tratamentos de frutas e vegetais para enlatamento, congelamento e desidratação (AVALLONI *et al.*, 2003).

Com isto, supõe-se que a pasteurização foi eficaz na inativação da polifenol oxidase, impedindo a formação de pigmentos indesejados, sendo assim, preservando a coloração desejada para o processamento de polpa de carambola.

3.4. CONCLUSÃO

A polpa obtida pela adição de enzima resultou em um rendimento de 90,20% de produto final, gerando 9,20% de resíduos sólidos. Sendo assim, a enzima teve efeito positivo na produção de polpa de carambola, devido à ação desta sobre as fibras existentes na polpa, pois as enzimas pectinases quebram as cadeias poliméricas de carboidratos, tais como pectinas, hemiceluloses e amidos, aumentando assim o rendimento da polpa. Com isso há geração de quantidades muito menores de resíduos, comparando-se com o método convencional, o que contribui para redução da poluição do meio ambiente e acarreta em menores prejuízos para as indústrias de sucos e polpas.

As amostras pasteurizadas apresentaram maior luminosidade em todos os tratamentos, o que torna a polpa mais clara e com maior aceitação. Esta preservação da cor certamente foi acarretada pela inativação da enzima polifenol oxidase através do tratamento térmico. A homogeneização não teve influência significativa sobre a cor da polpa, exceto para a polpa *in natura*.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Especificação de cores de acordo com o sistema de notação Munsell – NBR 12694**. Rio de Janeiro, 1992.

ALVARADO, J.D.; AGUILERA, J.M. **Métodos para medir Propriedades Físicas em Indústrias de Alimentos**. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, 2001. p.410.

ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 1995.

AVALLONE, C.M.; CRAVZOV, A.L.; MONTENEGRO, S.B.; PELLIZZARI, E.E. Estudio de la actividad de la peroxidasa, pectinesterasa y polifeniloxidasa en extracto enzimático de sandía (*Citrullus vulgaris* Schard). Facultad de Agroindustrias - UNNE. Cdte. Fernández 755 - (3700) Pcia. R. Sáenz Peña - Chaco - Argentina.

BASTOS, M.S.R.; GURGEL, T.E.P.; SOUSA, M.S.M.F.; LIMA, I.F.B.; SOUZA, A.C.R.; SILVA, J.B. Efeito da aplicação de enzimas pectinolíticas no rendimento

CANO, M.P.; ANCOS, B.; LOBO, G. Peroxidase and polyphenoloxidase activities in papaya during postharvest ripening and after freezing/thawing. **Journal of Food Science**. v. 60, p. 815-820, 1995.

CARDOSO, R.L.; FERREIRA, V.L.; MONTGOMERY, M.W.; YOTSUYANAGI, K. Efeito do tempo, luz e temperatura na cor da geléia de jambo vermelho (*Eugenia maiacce* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n.1, p.28-31, 1997.

CHAN, M.M.; MARTINELLI, C.K. The effect of color on perceived flavor intensity and acceptance of foods by young adults and elderly adults. **Journal of the American Dietetic Association**, v.57, n.6, p.657-659, 1997.

CIE - International Commission on Illumination. Disponível em: <http://www.cie.co.at/cie/>. Acesso em 18 de outubro de 2004.

COÊLHO, M.A. L.; ALVES, R.E.; ASSIS, J.S.; FILGUEIRAS, H.A.C.; COSTA, J.T.A. Aparência, compostos fenólicos e enzimas oxidativas em uva 'itália' sob influência do cálcio e do armazenamento refrigerado. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.24 n.1 Jaboticabal abr. 2002.

COLORPRO – Color Metric Converter. Disponível em: <http://colorpro.com/info/tools/convert.htm#TOP>. Acesso em 24 de novembro de 2004.

ENZYMES. Disponível em: www.enzymes.com. Acesso em 15 set. 2004.

FATIBELLO, O.F.; VIEIRA, I.C. Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. **Química Nova**, Vol. 25, No. 3, 455-464, 2002.

GOMES, P. **Fruticultura Brasileira**. 11ª ed., Nobel, São Paulo, 1989. 446 p.

HUNTERLAB – Disponível em: www.hunterlab.com/products. Acesso em 17 de maio de 2004.

MATSUURA, F.C.A.U; ROLIM, R.B. Avaliação da adição de suco de acerola em suco de abacaxi visando à produção de um "blend" com alto teor de vitamina C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 138-141, abril 2002.

MURATA, M.; TSURUTANI, M.; TOMITA, M.; HOMMA, S.; KANEKO, K. Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.43, n.5, p.1115-1121, 1995.

NOVOZYMES, 2004. Informação capturada na Internet. Disponível em: <http://www.novozymes.com>. Acesso em 24 de novembro de 2004.

SILVA, E.M. Mecanismos bioquímicos de fisiopatias importantes de frutas. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGIA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES, 2., 2000, Bogotá. **Memorias**...Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2000. p. 5-19.

SOUTO, R.F.; DURIGAN, J.F.; SOUZA, B.S.S.; DONADON, J.; MENEGUCCI, J.L.P. Conservação pós-colheita de abacaxi 'Pérola' colhido no estágio de maturação "pintado" associando-se refrigeração e atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Fruticultura**. vol.26 n.1 Jaboticabal. Apr. 2004.

Standard Methods for the examination of water and wastewater. Fourteenth edition. Publicação oficial: American Public Health Association. Washington, 1976.

Capítulo 4

ESTUDO DA SEPARAÇÃO DE FASES EM POLPA DE CARAMBOLA (*AVERRHOA CARAMBOLA L.*)

RESUMO

O hábito do consumo de sucos industrializados teve um aumento considerável nos últimos anos, motivado principalmente pela falta de tempo da população em preparar sucos *in natura*. A indústria de polpas congeladas de frutas tem mostrado uma expansão considerável nos últimos anos. A aceitação destes sucos no mercado depende, no entanto, de sua aparência, particularmente no que diz respeito à separação das fases sólida e líquida. A separação de fases deprecia a aparência visual do produto, o que compromete sua competitividade. Polpa de carambola, obtida da fruta *in natura*, foi tratada enzimaticamente, pasteurizada e homogeneizada a velocidades de 11000 rpm por 2 min e 22000 rpm por 5 min. Observou-se que a polpa *in natura* apresenta precipitado com sobrenadante límpido e translúcido. A aplicação de tratamento enzimático com enzima Pectinex Ultra SP-L a 50-55 °C por 1 h solubilizou parte das substâncias pécticas, favorecendo a formação de um suco turvo, e diminuindo a altura da fase sedimentada em aproximadamente 62 %, em relação à polpa *in natura*. A pasteurização mostrou uma diminuição de cerca de 43 % em relação à polpa *in natura*, provavelmente devido a um inchamento da celulose que é hidratada no processo. A homogeneização teve pouca influência na polpa *in natura*, mas diminuiu muito a altura da fase sedimentada, nos outros dois tratamentos, sendo praticamente desprezível quando aplicada na polpa pasteurizada.

Palavras-chave: carambola; estabilidade; homogeneização; pasteurização; pectinase.

ABSTRACT

The consuming of juices is growing in the last years principally moved by the lack of time of people to prepare natural juices. The frozen pulp industry has considerably expanded. The acceptance of these products in the market depends on its appearance

particularly that one concerned to the separation of the liquid and solid phases. Star fruit pulp, obtained in laboratory from the crude fruit was enzyme treated, pasteurized and homogenized at 11000 rpm for 2 minutes and 22000 rpm for 5 minutes. It was observed that the crude pulp showed a precipitated with a clear and translucent supernatant. The application of the enzyme treatment with Pectinex Ultra-SP-L at 50-55 °C for 1 hour favored the turbid juice formation, and diminished the height of the sediment at around 62 %, relating to the crude pulp. Pasteurization showed a diminution of approximately 43 %, relating to the crude pulp, probably due to a swelling of the cellulose, hydrated in the heat process. Homogenization had a little influence in the crude pulp, but retreated the height of the sediment in the two other operations, which was almost negligible when applied to the pasteurized pulp.

Key words: starfruit; stability; homogenization; pasteurization; pectinase.

4.1 INTRODUÇÃO

A polpa congelada, por apresentar características de praticidade, vem ganhando grande popularidade, não só entre as donas de casa, mas também em restaurantes, hotéis, lanchonetes, etc., onde é utilizada principalmente na elaboração de sucos.

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) pertence à família Oxalidácea, sendo originária do Sudeste Asiático (TEIXEIRA *et al.*, 2001). A forma de seus frutos varia de oblongo a elipsóide, com 6 a 15 cm de comprimento e com 4 a 5 recortes longitudinais, que correspondem aos carpelos. A casca é translúcida, lisa e brilhante, e a cor varia do esbranquiçado ao amarelo-ouro intenso (DONADIO, 2001).

A carambola é uma fruta rica em sais minerais (cálcio, fósforo e ferro) contendo vitaminas A, C e do complexo B. Seu suco, além de possuir um delicioso sabor, é utilizado no combate a desintéria, febres, escorbuto e, devido a grande quantidade de ácido oxálico, é ainda utilizada pela medicina popular no tratamento de afecções renais.

No Brasil, principalmente no Estado de São Paulo, essa cultura está em franca expansão com pomares sendo formados com plantas "nativas" e/ou cultivares originárias da Flórida (TEIXEIRA *et al.*, 2001).

O suco de carambola ainda é pouco consumido. Na literatura existem poucas referências sobre os dados de composição, estabilidade física e influência do tamanho de partículas na estabilidade da polpa e do suco desta fruta. Estes dados são de grande importância para o desenvolvimento de processos e equipamentos nas indústrias de alimentos.

A separação de fases em sucos e polpas deprecia a aparência visual do produto, comprometendo sua competitividade, porém pode ser minimizada de diversos modos. Um deles é fazer a homogeneização da polpa cujo objetivo é desintegrar e realizar uma fina divisão das partículas ou glóbulos dos líquidos e soluções que estão sendo processados para obtenção de uma suspensão estável, evitando que as partes de menor peso separem do restante dos componentes e subam para a superfície. A homogeneização também dá ao produto uma cor mais brilhante e atraente.

A polpa de carambola é formada por duas fases distintas, a fase líquida e a fase sólida. Na fase líquida estão presentes compostos solúveis, os quais são representados por vitaminas, sais minerais, carboidratos e água. Por outro lado, a fase sólida é composta de sólidos insolúveis, representados pelas células trituradas ou não, formados principalmente de celulose, hemicelulose, substâncias pécicas e proteínas que constituem a parede celular de frutas e vegetais (FENIMAN, 2004).

Estes sólidos insolúveis representam as partículas suspensas na polpa de carambola. A pasteurização por utilizar altas temperaturas, estabiliza a suspensão devido à solubilização das pectinas presentes e da redução da cristalinidade entre as cadeias da celulose (CHEFTEL & CHEFTEL, 1992). Como resultado deste processo, tem-se uma suspensão homogênea.

A estabilidade de sucos e polpas de frutas é fortemente afetada pela diferença de densidade entre as fases, pela viscosidade do sistema, pela relação entre os volumes das fases, tensão superficial nas interfaces e a existência de cargas elétricas nas partículas (BOBBIO & BOBBIO, 2001).

A estabilidade das suspensões é diretamente dependente do modo como as partículas interagem durante o momento de colisão. Uma possibilidade é a formação de aglomerados de partículas. Esses aglomerados são estruturas porosas formadas pela união de diversas partículas primárias que, quando presentes na suspensão, podem absorver parte da água ou do líquido originalmente para a separação das partículas (MARTINS, 2001).

O objetivo geral do presente trabalho é fazer o estudo da estabilidade física da polpa de carambola (*Averrhoa carambola* L.), processada sob diferentes condições.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Obtenção da polpa

A obtenção da polpa de carambola e os diferentes tratamentos a que foi submetida são mostrados na Figura 4.1, que traz um fluxograma dos processos utilizados.

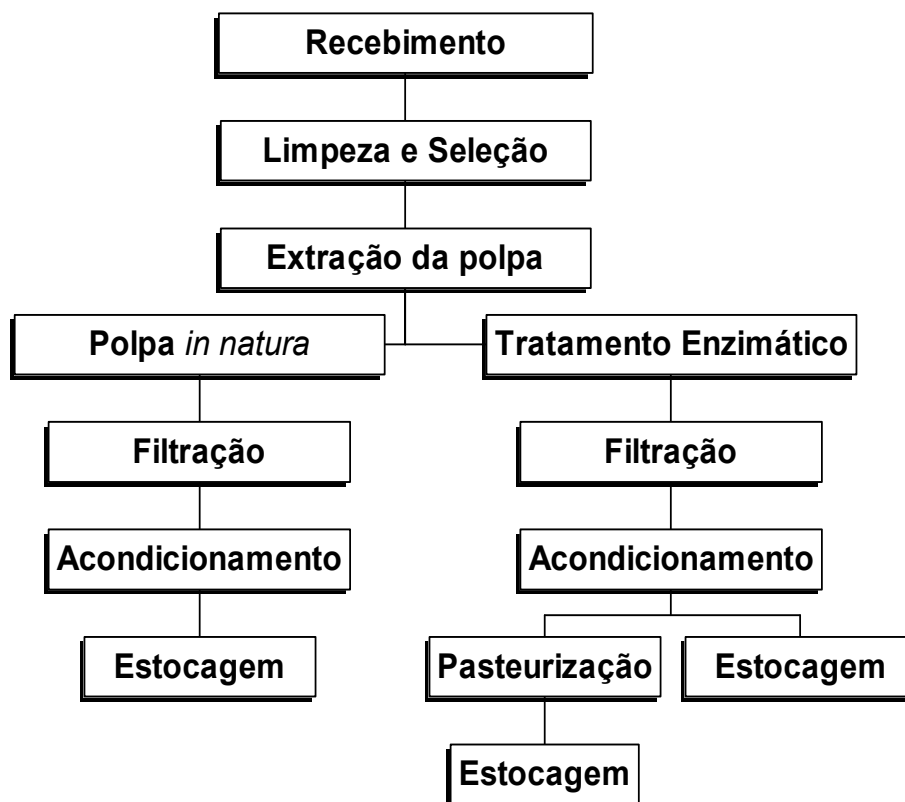


FIGURA 4.1 – Fluxograma de Produção da Polpa de Carambola.

A carambola utilizada no presente trabalho, proveniente do Estado de São Paulo, safra de 2003, plantada em solo areno-argiloso, foi adquirida no mercado local, em quantidade suficiente para os testes propostos.

A fruta foi selecionada por coloração, de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação. As frutas foram limpas e colocadas em água destilada com 0,5 g/kg de ácido ascórbico, e a polpa foi extraída em despolpadeira Brameitar com peneira de 2 mm. Parte da polpa *in natura* foi congelada a -18°C para ser usada como padrão. A outra parte foi submetida a tratamento enzimático com enzima Pectinex Ultra-SPL (Novozymes), à concentração de 1 mL/L, à temperatura de $50-55^{\circ}\text{C}$ por uma hora, seguida de filtração em filtro dessorador da Brasholanda $50\mu\text{m}$.

A polpa foi então acondicionada em sacos de polietileno, fechado em seladora a quente. Parte desta polpa foi congelada, e a outra parte foi pasteurizada a 100°C por 10 minutos, e congelada para análises posteriores.

Estas três amostras, *in natura*, tratada enzimaticamente e pasteurizada, foram submetidas à homogeneização em homogeneizador Ultra Turrax a 11000 rpm/2min e 22000 rpm/5min.

4.2.2 Caracterização da polpa

Para caracterização físico-química da polpa, foram feitas análises de sólidos solúveis em refratômetro, sólidos insolúveis, acidez total titulável e umidade, segundo as normas A.O.A.C. O pH foi determinado em potenciômetro digital à 25 °C.

4.2.3 Estabilidade Física

Amostras da polpa *in natura*, tratada enzimaticamente e pasteurizada, e cada uma delas homogeneizadas a 11000 rpm por 2min e 22000 rpm por 5min, foram submetidas à ensaios de sedimentação.

Para a medida da estabilidade física da polpa, amostras de 25 mL foram colocadas em tubos de ensaios com tampa, como descrito por Godoy *et al* (1998). A altura da sedimentação foi medida com papel milimetrado, a partir da base do tubo, em intervalos de 24 horas, até que fosse atingida altura constante. Em todas as amostras foram colocadas alíquotas de formol e os ensaios foram realizados à temperatura ambiente. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

A aparência da polpa de carambola foi observada por microscopia ótica. Foram preparadas lâminas, com a polpa, para a visualização das partículas, em microscópio ótico Olympus, modelo BX40 com aumento de 20x. As amostras foram fotografadas digitalmente pelo sistema de aquisição de dados.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Caracterização da polpa

As polpas de frutas são definidas pela legislação como sendo o resultado do esmagamento das partes comestíveis de frutas carnosas por processos tecnológicos adequados, mostrando aparência pastosa (ANVISA, 2004). No entanto, a polpa obtida a partir da carambola se assemelha a sucos, pois comparando-se a outras frutas como manga e abacaxi que possuem teor de sólidos de 16,60 °Brix e 13,30 °Brix, respectivamente (PELEGRINE *et al.*, 2000), a polpa de carambola possui baixo teor de sólidos solúveis, como pode ser observado na Tabela 4.1

TABELA 4.1 - Características físico-químicas da polpa de carambola (*Averrhoa carambola* L.) *in natura*.

Determinações	Resultados
pH	3,44 ± 0,05
Sólidos Solúveis (°Brix)(20°C)	8,90 ± 0,06
Sólidos insolúveis(g 100g ⁻¹)	5,15 ± 0,06
Acidez total titulável (%)	3,32 ± 0,05
Umidade (% em massa)	83,65 ± 0,10

O pH da polpa de carambola variou de 3,40 a 3,70 com média de 3,44, que de uma maneira geral, são concordantes com os resultados relatados por Alves *et al* (2004), que variam na faixa de 3,10 a 3,93, considerando frutos comercialmente maduros. O pH inferior a 4,0 classifica a carambola como muito ácida, condição que desfavorece o desenvolvimento de um grande número de bactérias bem como a atividade da PPO cujo pH ótimo é 7,2 (YON & JAAFAR, 1994).

A acidez é um importante parâmetro do estado de conservação de um produto alimentício. Geralmente um processo de decomposição do alimento, seja por hidrólise, fermentação ou oxidação, altera quase sempre a concentração dos íons de hidrogênio (OLIVEIRA *et al*, 1999), e por conseqüência sua acidez. Os ácidos orgânicos são produtos intermediários do metabolismo respiratório dos frutos e são muito importantes do ponto de vista do sabor e odor. A acidez da polpa de carambola variou de 3,31 a 3,35 com média de 3,32 %.

Sólidos solúveis medidos por refratometria, são utilizados como índice dos açúcares totais em frutos, indicando o grau de maturação. São constituídos por compostos solúveis em água, tais como açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas. O teor de sólidos solúveis encontrado na polpa de carambola foi de 8,9 ° Brix, sendo este valor compatível com trabalho realizado por Teixeira *et al*. (2001), que estudou as características físicas de carambola *in natura* e o valor médio encontrado para o teor de sólidos solúveis foi de 9 ° Brix. Vale ressaltar que o teor de sólidos solúveis pode variar com fatores climáticos, variedade, solo, etc.

A quantidade de água encontrada para a polpa de carambola foi de 83,65% ± 0,10 em massa, valor este bem acima de outros valores encontrados na literatura para outras frutas, como por exemplo, 75,99 % para manga (PINA *et al.*, 2003).

4.3.2 Estabilidade Física

Polpas são o resultado da desintegração de vegetais, constituindo-se em uma mistura sólido-líquido, onde a parte sólida é formada de partículas compostas de pedaços de tecidos, com células inteiras e fragmentadas. A parte líquida é uma solução de sólidos solúveis (água, açúcares, vitaminas, sais, corantes, etc.), provenientes do interior das células fragmentadas.

As células vegetais que formam as partículas são protegidas pela parede celular e unidas entre si pela lamela média. Quando a célula é rompida, a solução contida nos vacúolos é liberada, e fragmentos da célula rompida continuam ligados a outras células pela lamela média.

A parede celular do vegetal maduro é constituída de celulose, hemicelulose, pectinas, proteínas e lignina (BRUCE, 1997). Estes constituintes são insolúveis em água, sendo que a lignina é hidrofóbica e substitui a água na parede celular (CUTTER, 2002), e a parte proteica da célula encontra-se no interior da parede (BROWNLEADER *et al.*, 1999). As moléculas de celulose e hemicelulose são ligadas e estabilizadas, dentro de uma mesma molécula e entre si, por pontes de hidrogênio formadas pelos açúcares da cadeia principal. Isto lhes confere um alto grau de adesão. Esta rede de celulose e hemicelulose é inter cruzada por cadeias de pectina, as quais são carregadas negativamente. Isto as torna altamente hidratadas, sendo acompanhadas por uma nuvem de cátions.

A lamela média é a camada cimentadora comum entre as moléculas, sendo formada principalmente por substâncias pécticas, com ligações cruzadas pela presença de cálcio, que auxilia na união dos componentes celulares (BRUCE *et al.*, 1997).

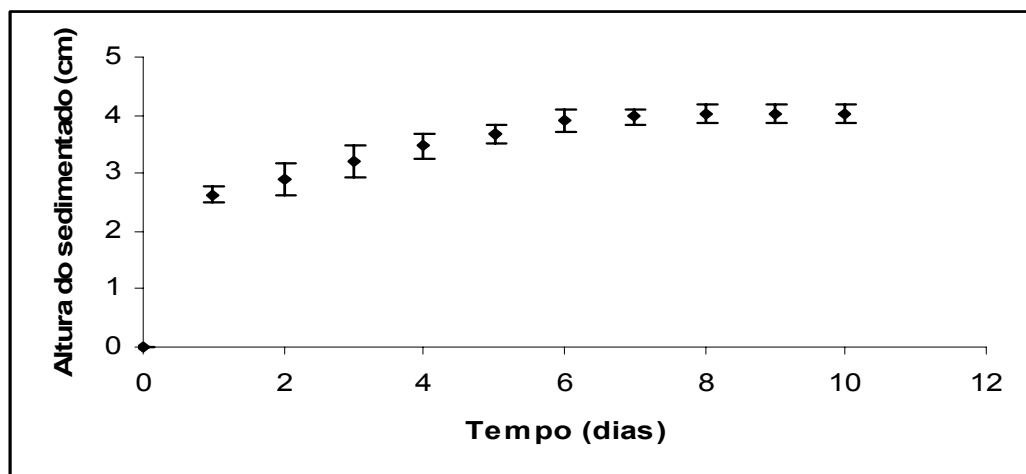


FIGURA 4.2 - Estabilidade da polpa de carambola *in natura*.

As partículas, formadas por estes componentes, tendem a precipitar quando em solução. A Figura 4.2 ilustra a cinética deste comportamento através do aumento da altura da fase sedimentada h (cm) com o tempo (h) para a amostra *in natura*. Pode-se observar que as amostras tornam-se estáveis a cerca de 200 h com altura de sedimentado final de $4,1 \pm 0,152$ cm. Pode-se ver que a sedimentação é muito mais rápida no início do processo, atingindo uma altura de 2,8 nas primeiras 24h, seguida de um aumento lento da altura do precipitado até que atinja uma altura estável.

Resultados similares foram obtidos para os demais tratamentos aplicados, sendo as alturas de sedimentação, absoluta h (cm) e relativa (%), bem como o tempo de sedimentação (h) mostrados na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Altura de sedimentação, tempo de sedimentação.

Tratamentos	H(cm)	h(%)
Polpa <i>in natura</i>	$4,20 \pm 0,15$	38,71
Polpa <i>in natura</i> com homogeneização de 11000 rpm por 2 min	$3,00 \pm 0,15$	28,28
Polpa <i>in natura</i> com homogeneização de 22000 rpm por 5 min	$2,80 \pm 0,06$	26,35
Polpa com adição de enzima	$1,60 \pm 0,11$	15,38
Polpa com adição de enzima e homogeneização de 11000 rpm por 2 min	$0,80 \pm 0,06$	7,57
Polpa com adição de enzima e homogeneização de 22000 rpm por 5 min	$0,60 \pm 0,06$	7,23
Polpa pasteurizada	$2,40 \pm 0,06$	21,51
Polpa pasteurizada com homogeneização de 11000 rpm por 2 min	$0,30 \pm 0,06$	1,91
Polpa pasteurizada com homogeneização de 22000 rpm por 5 min	$0,20 \pm 0,06$	1,52

A polpa *in natura* é aquela que possui maior altura de sedimentação. Acredita-se que isto se deva ao fato da grande quantidade de material insolúvel das partículas, além da atuação da enzima pectinesterase, naturalmente presente na fruta e que, em meio ácido e presença dos cátions (Ca^{2+} , Fe^{2+} e P^{3+}) (POLYDERA *et al.*, 2004), forma complexos insolúveis com outras substâncias pécticas, precipitando e levando consigo matérias coloidais suspensas, responsáveis pela turbidez (TOCCHINI & MARTIN, 1995).

Na Tabela 4.2 observa-se que a altura de sedimentação diminui com a aplicação do tratamento enzimático com Pectinex Ultra SP-L. Misturas enzimáticas comerciais destinadas à indústria de sucos, são coquetéis de diversas enzimas, em quantidades variáveis, que dependem da aplicação às quais se destinam. Misturas de celulases, hemicelulases e enzimas pécnicas (NOVOZYMES, 2004) tais como poligalacturonases, pectina liases, pectinametil esterase, ramnogalacturana hidrolases, ramnogalacturana liases e ramnogalacturana acetil esterases, juntamente com arabinases, galactanases, xilanases, β -1,4 glucanases, amilases, glucosidases e proteases, degradam pectinas altamente ramificadas, melhoram a filtração da polpa de fruta e solubilizam sacarídeos presentes nas paredes celulares (WHITAKER, 1999).

Estas enzimas atuam de diferentes modos, sendo que as celulases e hemicelulases têm a finalidade de degradar as paredes celulares, liberando suco intracelular contido nos vacúolos, diminuindo o bagaço e aumentando assim o rendimento do processo. Paralelamente, enzimas pectinolíticas atuam na lamela média, sobre o material responsável pela coesão entre as células, enfraquecendo o tecido formador das partículas, e possibilitando um novo ataque das celulases sobre as paredes celulares disponíveis.

Rouse e Atkins, citados em Corrêa Neto (1999) observaram que, em suco de laranja, a inativação enzimática a pH 3,6 ocorre a temperaturas entre 88 e 96°C. Eles verificaram ainda que sucos de laranja com 5 % de polpa em suspensão necessitavam de um tempo menor para inativação da pectinesterase em relação a sucos com 10% de polpa. Sadler *et al.* também citados em Corrêa Neto (1999) reportaram que foi possível inativar 84 % da pectinesterase presente no suco de laranja com tratamento térmico a 66 °C por 10 segundos. Deste modo, acredita-se que o calor úmido fornecido pelo tratamento enzimático (50-55 °C por 1 h) e pela pasteurização (10 min a 100 °C) tenham sido capazes de inativar a pectinesterase presente, favorecendo a solubilização da pectina.

Material péctico solúvel também é liberado devido à despolimerização da pectina por ação das hidrolases, que atuam a quente (55 °C) e em pH 3,44, um valor próximo de seu ótimo (em torno de 4,0). Como consequência observa-se um aumento da turbidez do suco, denotando uma melhora da solubilização da pectina, que atua como estabilizante da suspensão.

Vê-se que a altura de sedimentação aumenta de 1,6 cm no tratamento enzimático para 2,4 cm com a aplicação da pasteurização. Isto pode ser explicado pelo fato de que o calor úmido reduz a cristalinidade por inchamento e penetração de água entre as cadeias da celulose (CHEFTEL & CHEFTEL, 1992) presentes nas partículas ainda insolúveis. O tratamento enzimático diminui a altura de sedimentação em 61,9 % em relação à polpa *in natura*, e a pasteurização aumentou em 50% esta altura em relação àquela obtida para o tratamento enzimático.

Acredita-se que a pectinesterase tenha sido parcialmente inativada no tratamento enzimático, processo este completado com a pasteurização. Esta suposição apóia-se no fato de que a pectinesterase possui atividade máxima por volta de pH 7,0 a 7,5 (TOCHINI *et al.*, 1995), sendo, portanto, os pHs desta polpa (pH = 3,44) tão baixos quanto aqueles que são desfavoráveis à sua atividade. Com isto, a aplicação de calor, brando ou intenso, deve ser eficaz sobre sua inativação. Além do mais, sendo a polpa de carambola pobre em sólidos em suspensão, esta eficácia deve ser ainda melhor.

O tratamento por calor úmido, iniciado durante o tratamento enzimático e intensificado pela pasteurização, amolece o vegetal, destruindo a pressão de turgor, macerando o tecido e enfraquecendo as pontes de hidrogênio existentes entre os polissacarídeos ainda presentes nas partículas. Deste modo o gel péctico da matriz da parede celular é parcialmente destruído, com uma conseqüente perda da adesividade intercelular na lamela média. Este efeito é acompanhado por um aumento da solubilidade de polissacarídeos pécticos, provavelmente em conseqüência da degradação dos mesmos e de alterações na distribuição de íons na superfície das partículas (BINNER *et al.*, 2000; NG & WALDRON, 2002). Como resultado tem-se uma perda da integridade estrutural da parede celular e da lamela média (STOLLE-SMITS *et al.*, 1997), o que resulta em ligações fracas entre os resíduos celulares ainda existentes. Deste modo, a desintegração mecânica das partículas por aplicação de agitação a alta velocidade se faz muito mais facilmente do que com a polpa *in natura*. A altura de sedimentação diminui com o aumento da intensidade de homogeneização da polpa, diminuindo ainda mais com a aplicação do tratamento enzimático e da pasteurização, as quais enfraquecem as ligações entre os componentes das partículas.

Pela Tabela 4.2 pode-se ver que a homogeneização diminuiu a altura de sedimentação da polpa de carambola, sendo que a 22000 rpm a altura relativa das partículas sedimentadas passou de 4,2 cm para 2,8 cm, em relação à polpa *in natura* sem homogeneização, perfazendo uma diminuição de 33,3 %. Já para as polpas tratada enzimaticamente e pasteurizada, a homogeneização diminuiu a altura de sedimentação em 85,7 % e 95,2 % em relação à polpa *in natura*, respectivamente.

A Figura 4.3 mostra a aparência da polpa frente ao tratamento enzimático e pasteurização. Pode-se ver que o sobrenadante na polpa *in natura* é límpido, apresentando uma frente de sedimentação cuja altura de sedimentação é facilmente observável. A polpa tratada enzimaticamente possui um sobrenadante um pouco mais turvo provavelmente devido à solubilização parcial da pectina, que atua como estabilizante do sistema coloidal, formado por arabanos, ácido galacturônico e celobiose (NOVOZYMES, 2004). Pode-se ver uma altura de sedimentação mais baixa que no caso anterior. A pasteurização produziu uma

polpa com sedimento e com turbidez homogênea, devido aos fatores anteriormente analisados.

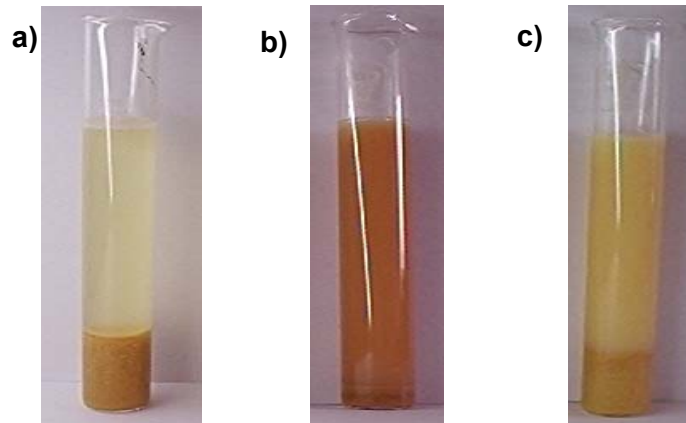


FIGURA 4.3 – Observação da sedimentação das partículas para a) polpa *in natura*; b) polpa tratada enzimaticamente e c) polpa pasteurizada.

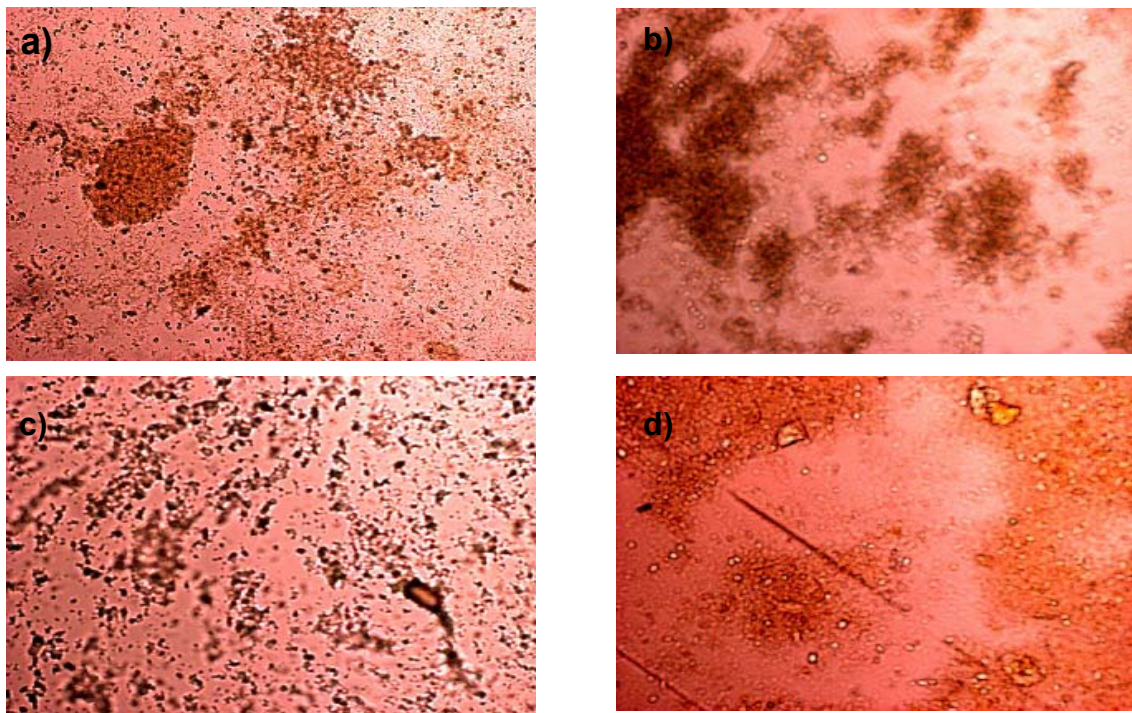


FIGURA 4.4 – Aparência da polpa de carambola a) *in natura*; b) com adição de enzima; c) com adição de enzima e com homogeneização de 22000 rpm/5min; d) pasteurizada. (Aumento de 40x)

A Figura 4.4 ilustra a aparência da suspensão da polpa de carambola observado em microscópio ótico. Observa-se que a polpa *in natura* apresenta partículas bem definidas e

de tamanho variável (Figura 4.4a), como seria de se esperar de um material insolúvel em água. A aplicação do tratamento enzimático resulta em um produto com contornos menos definidos (Figura 4.4b) devido à diminuição do contraste entre a fase sólida e a fase líquida ocasionada pela maceração do tecido vegetal, o qual preserva a integridade da célula, hidrolisando seletivamente os polissacarídeos da lamela média, e enfraquecendo a coesão entre as células. O enfraquecimento da coesão celular facilita a obtenção de um produto com partícula de tamanho pequeno e bastante uniforme relativamente ao produto não homogeneizado, após homogeneização, como visto na Figura 4.4c. A pasteurização nestas condições de cominuição (Figura 4.4d) mostra uma solução quase que sem partículas, com a aparência de uma suspensão relativamente homogênea. Pequenas partículas com aparência de gel podem ser observadas, com aparente formação de uma rede com pequenas quantidades de água aprisionada em seu interior.

4.4. CONCLUSÃO

A carambola é uma fruta ácida rica em cálcio, ferro e fósforo. A extração de sua polpa resulta em um produto que apresenta duas fases, onde a fase sólida se precipita provavelmente devido ao tamanho de partículas associado de complexos de pectinesterase com substâncias pécticas. O tratamento enzimático diminui a sedimentação em cerca de 62 % em relação à polpa *in natura*, provavelmente devido à solubilização da pectina e liberação do suco intercelular. A pasteurização aumentou a altura de sedimentação em cerca de 50 % relativamente às enzimas, provavelmente devido ao inchamento e hidratação da celulose remanescente no suco.

A pasteurização não somente propiciou a formação de uma polpa de aparência homogênea, como ainda foi observado que a homogeneização teve forte influência sobre a estabilidade da polpa de carambola, favorecendo a formação de turbidez uniforme nas polpas tratadas enzimaticamente e pasteurizadas. A aplicação direta sobre a polpa *in natura* não foi suficiente para a obtenção da estabilização da polpa.

4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. 12.ed. Washington: A.O.A.C., 1975. 1115p.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: www.anvisa.com.br. Acesso em: 12 jun. 2004

BINNER, S.; JARDINE, W.G.; RENARD, C.M.C.G.; JARVIS, M.C. Cell wall modifications during cooking os potatoes and sweet potatoes. **Journal of Science of Food an Agriculture**, v.80, n.2, p.216-218, 2000.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. 3ªed. São Paulo, 2001.

BROWNLEADER, M.D.; JACKSON, P.; MOBASHERI, A.; PANTELIDES, A.T.; SUMAR, S.; TREVAN, M.; DEY, P.M. Molecular aspects os cell wall modifications during fruit ripening. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.39, n.2, p.149-164, 1999.

BRUCE, A. (Ed.). **Biologia molecular da célula**. Porto Alegre: artes Médicas, 1997. 469p.

CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**, 2.ed. Zaragoza: Acribia, 1992. v.1.

CORRÊA NETO, R.S./ FARIA, J.A.F. Fatores que influem na qualidade do suco de laranja. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 19(1): 153-160, 1999.

CUTTER, E.G. **Anatomia vegetal: células e tecidos**. 2.ed. São Paulo: Roca, 2002. 304p.

DONADIO, L.C.; SILVA, J.A.A.; ARAÚJO, P.S.; PRADO, R.M. **Caramboleira (*Averrhoa carambola* L.)**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2001. 81p. (Série Frutas Potenciais).

FENIMAN, C.M. Caracterização de raízes de mandioca (*Manioth esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita. São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. 2004. 99 p. Dissertação de Mestrado.

GODOY, R.C.B.; ANTUNES, P.L. & ZONTA, E.P. Estabilização de néctar de goiaba (*Psidium guayava* L.) com gomas xantana, carragena e amido ceroso. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.2, p.105-110 Mai-Ago, 1998.

MARTINS, G.J.M. Influência da dureza da água em suspensões de esmalte cerâmico. Florianópolis: Faculdade de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. 85 p. Dissertação de Mestrado.

NG, A.; WALDRON, K.W. Effect of steaming on cell wall chemistry os potatoes (*Solanum tuberosum*) in relation to firmness. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, n.9, p.3411-3418, 2002.

NOVOZYMES, 2004. Informação capturada na Internet. Disponível em: <http://www.novozymes.com>. Acesso em 24 de novembro de 2004.

OLIVEIRA, M.E.B.; BASTOS, M.S.C.; FEITOSA, T.; BRANCO, M.A.A.C.; SILVA, M.G.G. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.3, 1999.

PELEGRINE, D.H., VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, 2000.

PINA, M.G.M; MAIA, G.A.; SOUZA, M.S.M.F.; FIGUEIREDO, R.W.; MONTEIRO, J.C.S. Processamento e conservação de manga por métodos combinados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticaba, v.25, n.1, abr. 2003.

POLYDERA, A.C.; STOFOROS, N.G.; TAOUKIS, P.S. Quality degradation kinetics of pasteurised and high pressure processed fresh Navel orange juice: Nutritional parameters and shelf life. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 2005.

STOLLE-SMITS, T.; BEEKHUIZEN, J.G.; RECOURT, K.; VORAGEN, A.G.J.; DIJK, C. van. Changes in pectic and hemicellulosic polymers of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during industrial processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, n.12, p.4790-4799, 1997.

TEIXEIRA, H.A.T.; DURIGAN, L.C.D.; SILVA, J.A.A. Caracterização pós-colheita de seis cultivares de carambola (*Averrhoa carambola* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.546-550, 2001.

TOCCHINI, R.P.; NISIDA, A.L.A.C.; MARTIN, Z.J. Industrialização de polpas, sucos e néctares de frutas. Manual do ITAL, Campinas, 1995, p.44-63.

WHITAKER, J. R. Microbial pectolytic enzymes. In: Forgaty, W. M.; Kelly, C. T. (ed) *Microbiol enzymes and biotechnology*. 2 ed. London: Elsevier, cap. 4, p. 133-176. 1990.

WHITAKER, J. *Handbook of enzymology*. 2002. Marcel Dekker, Inc. Nova York, USA.

YON, R.M.; JAAFAR, M.Y. Effect of low temperatures on storage life and quality of carambola (*Averrhoa carambola* L.) cv. B 17. **Acicar Proceedings**, Canberra, n. 50, p. 396-401, 1994.

ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPA DE CARAMBOLA (*AVERRHOA CARAMBOLA L.*) EM DIFERENTES ETAPAS DE PROCESSAMENTO

RESUMO

As propriedades reológicas de alimentos fluidos são quantificadas mediante parâmetros necessários para solucionar problemas encontrados no controle de qualidade, na avaliação da textura, em projetos de controle e processos, na determinação da estrutura do alimento, incluindo mudanças físico-químicas que ocorrem durante o processamento e no armazenamento de alimentos. Este comportamento reológico está diretamente ligado aos teores de sólidos em suspensão e seus respectivos tamanhos, forma e concentração das partículas suspensas e da estrutura do sistema. Polpa de carambola, obtida da fruta *in natura*, foi tratada enzimaticamente, pasteurizada, filtrada e homogeneizada a velocidades de 11000 rpm por 2 min e 22000 rpm por 5min. Foi observado que a polpa de carambola, em todos os tratamentos, apresenta característica newtoniana, com valores de R^2 superiores a 0,98. A aplicação de tratamento enzimático a 55 °C por 1 h, reduziu a viscosidade de 1,84 mPas, encontrada para polpa *in natura*, para 1,22 mPas na polpa tratada enzimaticamente. A pasteurização, a 100 °C por 10 min, aumentou a viscosidade, em relação à polpa *in natura*, em aproximadamente 26 %, resultando em um produto turvo e de aparência homogênea. Quando procedeu-se à filtração e concentração das amostras, a 50 % de volume inicial, observou-se que os sólidos insolúveis têm forte influência sobre a viscosidade da polpa de carambola. Com a filtração da polpa de carambola pasteurizada, houve uma diminuição de 60 % na viscosidade, e a concentração da mesma aumentou a viscosidade de 2,28 mPas para 7,98 mPas.

Palavras-chave: reologia; polpa; homogeneização; viscosidade; carambola.

ABSTRACT

Rheological properties of fluid foods are needed to solve problems found in the quality control, in the texture evaluation, in control and process projects, in the determination of the structure of the food, including physical and chemical changes that occur during process and storage. Rheological behavior of suspensions is related to the solid content, to the size, shape and concentration of the suspended particles, and to the structure of the system. Star fruit pulp obtained from the crude vegetable was enzyme treated, pasteurized, filtrated and submitted to two intensities of homogenization. The rheological study showed that star fruit pulp has a Newtonian characteristic, with R^2 values greater than 0,98. Application of enzyme treatment at 55°C for 1 h reduced the viscosity from 1,84 mPas, found in the crude pulp, to 1,22 mPas in the enzyme treated pulp. Pasteurization augmented viscosity at approximately 26% relating to the crude pulp, resulting in a turbid product with homogeneous appearance. Filtration and concentration of the samples put in evidence the influence of the insoluble solids in suspension on the viscosity. Related to the pasteurized pulp filtration diminished the viscosity in 60%, and the reduction of the volume to 50% of the initial volume rose the viscosity from 2,28 to 7,98 mPas.

Key words: rheology; pulp; homogenization; viscosity; starfruit.

5.1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de equipamentos para processamento de derivados de frutas quer sejam sucos ou polpas, envolve problemas relativos ao seu escoamento (QUEIROZ *et al.*, 2000), e o conhecimento do comportamento reológico é útil não só para o controle de qualidade do produto, mas principalmente para a adequação de sistemas de tubulação, trocadores de calor, filtros, bombas, entre outros (VASQUES, 2003). Conforme os trabalhos de Vidal e Gasparetto (2000), trabalhando com polpa de manga; Queiroz *et al.* (2000), trabalhando com suco de abacaxi; Pelegrine *et al.* (2000) estudando polpas de manga e abacaxi; Branco & Gasparetto (2003) em trabalho sobre mistura ternária de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura e Vidal *et al.* (2004) estudando polpa de manga, em se tratando de sucos de frutas, alguns de seus constituintes têm especial influência sobre o comportamento reológico, sendo um deles representado pelos sólidos insolúveis suspensos.

A polpa de carambola pode ser considerada uma suspensão, pois consiste em uma mistura sólido-líquido com 16,35 % de sólidos, conforme relatado no capítulo anterior, formando um conjunto de partículas distribuídas em um meio líquido, com 8,9 % em solução.

Uma suspensão de partículas sólidas em um meio líquido deve apresentar, pela sua característica de mistura de líquido e sólido disperso, um comportamento reológico intermediário entre o sólido e o líquido. A fase sólida influi diretamente nas características reológicas da suspensão através da concentração volumétrica de sólidos, distribuição de tamanhos de partículas, formato das partículas, distância de separação entre as partículas e a existência e magnitude das forças de atração e repulsão entre elas (SKELLAND, 1967).

A viscosidade é uma medida de resistência ao escoamento de um fluido e é considerada como sua principal propriedade reológica. O comportamento reológico dos sucos é fortemente afetado pelas propriedades físicas e químicas (VIDAL *et al.*, 2004) e, conseqüentemente, dependerá do tipo de fruta e dos tratamentos realizados no seu processo de elaboração, como o tratamento enzimático, a pasteurização e a concentração de sucos. Os sucos clarificados e despectinizados apresentam comportamento newtoniano, ao passo que os sucos concentrados e as polpas geralmente não seguem a lei da viscosidade de Newton (PELEGRINE *et al.*, 2000). De acordo com Holdsworth (1971), a maioria dos alimentos fluidos derivados de frutas apresenta comportamento pseudoplástico, onde a viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação.

Os principais fatores que afetam a viscosidade de um fluido, com concentração de sólidos inferiores a 5 % são, a concentração volumétrica de sólidos, as características do meio (viscosidade, densidade, etc.) e a temperatura. Com a elevação do percentual do sólido, as partículas passam a interagir entre si. O comportamento reológico desvia-se do newtoniano e passa a depender também de diversas variáveis, como as características físicas das partículas, a distribuição de tamanho de partícula, densidade, formato, tipo de interação, entre outros fatores (PANDOFELLI, 2000; ALVARADO & AGUILERA, 2001).

O objetivo deste trabalho foi estudar as características reológicas de polpa de carambola *in natura*, pasteurizado, concentrado, filtrado e homogeneizado com diferentes intensidades, em função da quantidade de sólidos presentes nas amostras.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Obtenção da polpa de carambola

A obtenção da polpa de carambola e os diferentes tratamentos a que foi submetida são mostrados na Figura 5.1, que traz um fluxograma dos processos utilizados.

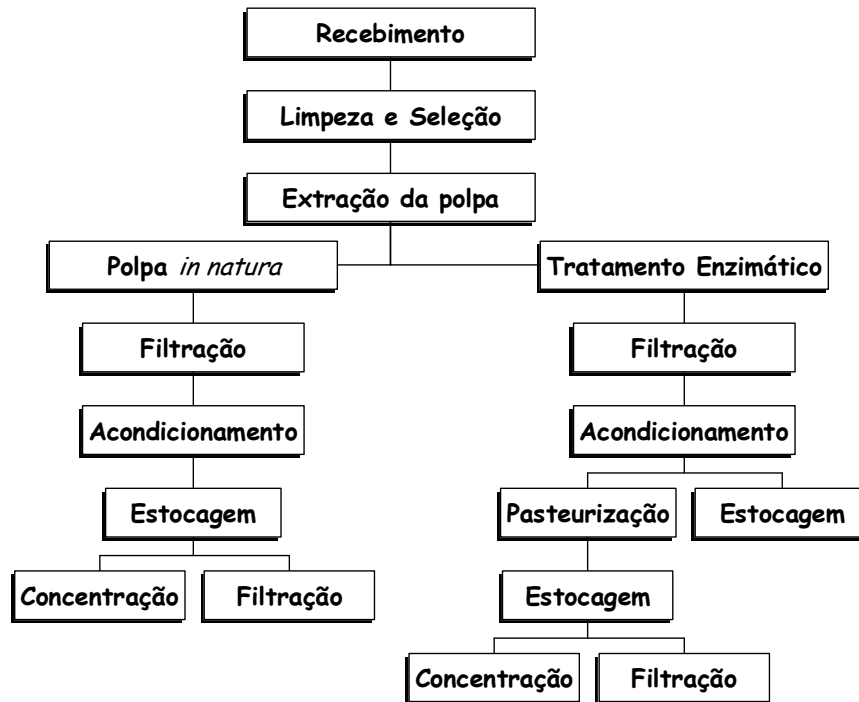


FIGURA 5.1 – Fluxograma de Produção da Polpa de Carambola.

A carambola, proveniente do Estado de São Paulo, safra de 2003, plantada em solo areno-argiloso, foi adquirida no mercado local, em quantidade suficiente para os testes propostos.

A fruta foi selecionada por coloração, de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação. As frutas foram limpas e colocadas em água destilada com 0,5g/kg de ácido ascórbico, e a polpa foi extraída em despolpadeira Brameitar com peneira de 2mm de abertura. Parte da polpa *in natura* foi congelada a -18°C para ser usada como padrão. A outra parte foi submetida a tratamento enzimático com enzima Pectinex Ultra SP-L (Novozymes), à concentração de 1mLL⁻¹ à 50-55 °C por uma hora, seguida de filtração em filtro dessorador de 50 µm (Brasholanda).

A polpa foi, então, acondicionada em sacos de polietileno e fechado em seladora a quente. Parte desta polpa foi congelada, e a outra parte foi pasteurizada a 100°C por 10 minutos, e congelada para análises posteriores. Uma alíquota destas amostras foi submetida ao processo de concentração, em rotavapor, à temperatura de 70 °C, até atingir 50 % de seu volume inicial, e outra alíquota foi submetida à filtração em papel filtro de 14 µm.

A amostra foi caracterizada segundo o teor de sólidos solúveis e insolúveis, (A.O.A.C.), sendo os ensaios realizados em triplicata.

A estimativa do diâmetro das partículas foi realizada por microscopia ótica. Foram preparadas lâminas com a polpa para visualização das partículas, em microscópio ótico

Olympus, modelo BX40. As amostras foram fotografadas digitalmente e o tamanho das partículas calculados pelo software embutido no sistema de aquisição de dados.

As medidas reológicas foram realizadas à temperatura de 25 °C em viscosímetrorotacional e geometria de cilindros concêntricos Thermo Haake, modelo VT 550. O tempo de corrida para cada ensaio foi programado para 5 minutos com a taxa de deformação máxima de 1000 s⁻¹. Os ensaios foram feitos com uma corrida ascendente e outra descendente, com 90 pontos de taxa de deformação em função da tensão de cisalhamento em cada uma delas, resultando num total de 180 pontos.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos ensaios reológicos, em sentido ascendente e descendente com a taxa de deformação, não foram observados efeitos de histerese. Isto nos leva a concluir que as amostras utilizadas nos ensaios não apresentaram comportamento dependente do tempo, e, portanto não exibem tixotropia.

A Figura 5.2 ilustra o comportamento reológico da polpa de carambola. O caso apresentado refere-se ao produto pasteurizado. A curva observada para a tensão de cisalhamento (mPas) em função da taxa de deformação (s⁻¹) passa pela origem, denotando um comportamento newtoniano. Este comportamento foi observado em todos os tratamentos (Figura 5.1) aplicados à polpa de carambola. A adequação do modelo mostrou valores do coeficiente de determinação, R², superiores a 0,98. Além disso, a viscosidade é praticamente constante para valores da taxa de deformação, superiores a 200 s⁻¹. A viscosidade encontrada para o caso ilustrado é de 2,28 ± 0,17 mPas.

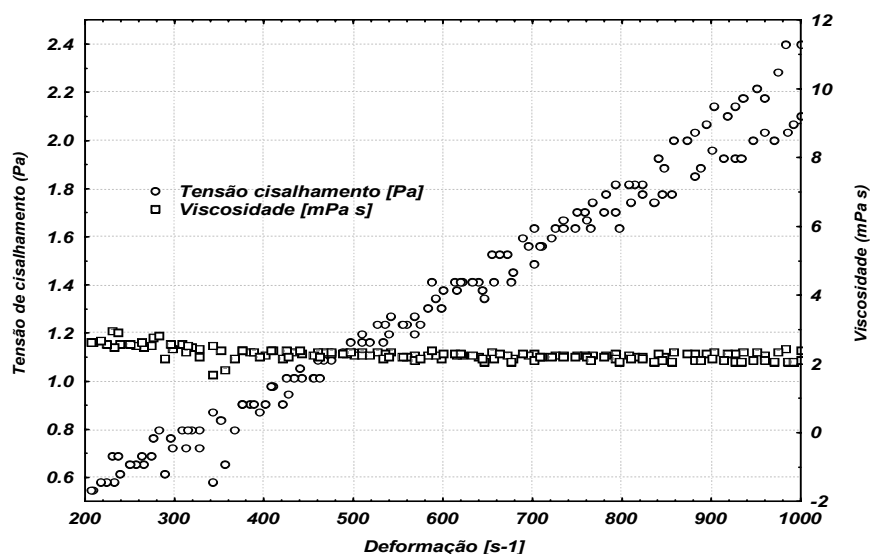


FIGURA 5.2 – Comportamento Reológico da polpa pasteurizada

A polpa de carambola é um fluido com baixo teor de sólidos solúveis (cerca de 9,00 g 100 mL⁻¹), comparativamente a outras frutas como a manga e abacaxi que possuem teores de sólidos de 16,60 g 100 mL⁻¹ e 13,30 g 100 mL⁻¹ (PELEGRINE *et al.*, 2000), respectivamente. Como a viscosidade é influenciada pelo teor de sólidos em suspensão (VIDAL & GASPARETTO, 2000; QUEIROZ *et al.*, 2000), isto pode justificar o comportamento newtoniano.

Os altos valores da viscosidade e tensão de cisalhamento encontrados a valores de taxa de deformação abaixo de 200 s⁻¹ deve-se à instabilidade no sistema. Acredita-se que as partículas em suspensão na fase líquida de baixa viscosidade tendem a precipitar. Uma vez que estas oferecem resistência em uma direção diferente das linhas de fluxo impostas pelos cilindros a baixas taxas de deformação, a medida da viscosidade é perturbada, pois o sistema torna-se sensível a variações bruscas da resistência do fluido. Em valores da taxa de deformação maiores, o sistema de cilindros concêntricos impõe velocidades maiores, estabelecendo linhas de fluxo estáveis que conseguem compensar a tendência à sedimentação por parte das partículas.

A Figura 5.3 nos mostra a variação da viscosidade (μ) em função da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) para a polpa *in natura*, tratada enzimaticamente e pasteurizada. Observa-se que o comportamento newtoniano é comum para estes processos, com a viscosidade constante, variando em magnitude para cada um deles. A viscosidade de $1,84 \pm 0,12$ mPas, encontrada para a polpa *in natura*, diminui para $1,22 \pm 0,13$ mPas quando é aplicado o tratamento enzimático, que foi feito com a mistura comercial Pectinex Ultra SP-L. De acordo com Whitaker (2002), estas misturas são um coquetel de diversas enzimas como celulases, hemicelulases e várias enzimas que atuam sobre as substâncias pécticas. Dentre estas últimas são encontradas as poligalacturonases, pectina liases, pectinametilsterase, ramnogalacturanaliasas e hidrolase, galactanases, glucanases, proteases, e outras enzimas, as quais degradam pectinas altamente ramificadas, e solubilizam sacarídeos e proteínas presentes nas paredes celulares. Estas enzimas também atuam na lamela média, no material responsável pela coesão entre as células, enfraquecendo o tecido formador das partículas. Na temperatura de 55 °C usada neste tratamento, se inicia um amaciamento do tecido vegetal, fazendo com que a resistência das partículas ao escoamento diminua. Nesta mesma figura, pode-se observar que a pasteurização aumenta a viscosidade para $2,28 \pm 0,17$ mPas. Este aumento pode ser explicado pelo fato de que o calor úmido utilizado no processo de pasteurização provoca o inchamento e a retenção de água entre as cadeias da celulose, aumentando o volume das partículas em suspensão (CHEFTEL & CHEFTEL, 1992). Além disso, faz com que ocorra a solubilização das pectinas existentes na polpa (BINNER *at al.*, 2000; NG & WALDRON, 2002), resultando em maiores valores no teor de

sólidos solúveis, que passa de 8,90 na polpa *in natura* para 11,20 na polpa pasteurizada, como pode ser visto na Tabela 5.1. Ambos os processos contribuem contribuindo para este aumento da viscosidade do fluido.

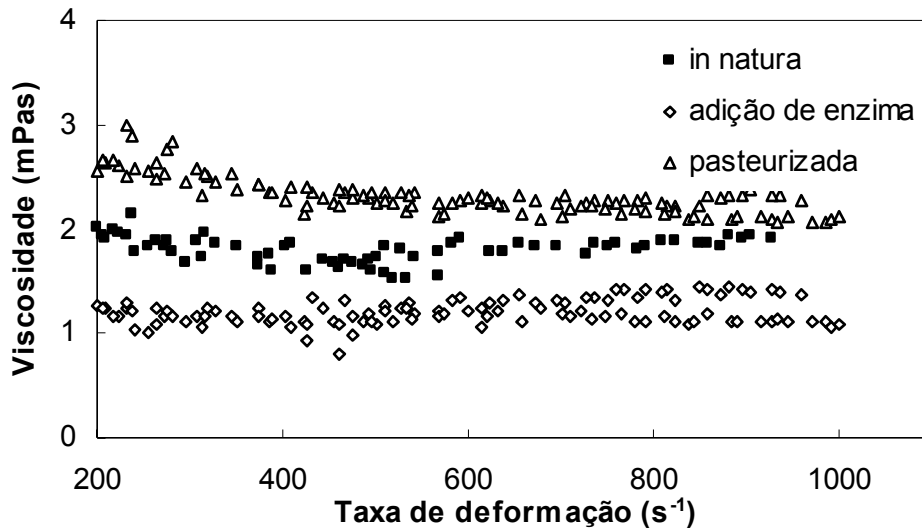


FIGURA 5.3 – Comportamento reológico dos diferentes tratamentos da polpa de carambola.

A homogeneização é um processo que tem por finalidade quebrar as partículas grandes, promovendo a formação de um sistema de partículas menores e de tamanho uniforme. Deste modo espera-se que a aplicação desta operação a um sistema de processamento aumente não somente a concentração de sólidos solúveis, visto que desintegra partículas e células, como também a quantidade de sólidos em suspensão, se estes estiverem finamente divididos.

A Figura 5.4 ilustra a influência da homogeneização sobre a viscosidade da polpa de carambola pasteurizada. Como pode ser observada a homogeneização diminui a viscosidade da polpa pasteurizada, apresentando valores mais baixos de viscosidade à medida que aumenta a intensidade. A Tabela 5.1 apresenta os valores de viscosidade, teor de sólidos solúveis e insolúveis e diâmetro das partículas, encontrados para as diferentes intensidades deste tratamento aplicado à polpa *in natura*, tratada enzimaticamente e pasteurizada.

Pode-se observar que a homogeneização não teve influência sobre o teor de sólidos solúveis na amostra *in natura* (Tabela 5.1), sendo este tratamento insuficiente para liberar em quantidades significativas sólidos contidos em partículas compostas de células vegetais cruas. A diminuição da viscosidade da suspensão pode ser justificada pela leve cominuição das partículas presentes, cuja estimativa é dada pelo diâmetro das partículas (d_p).

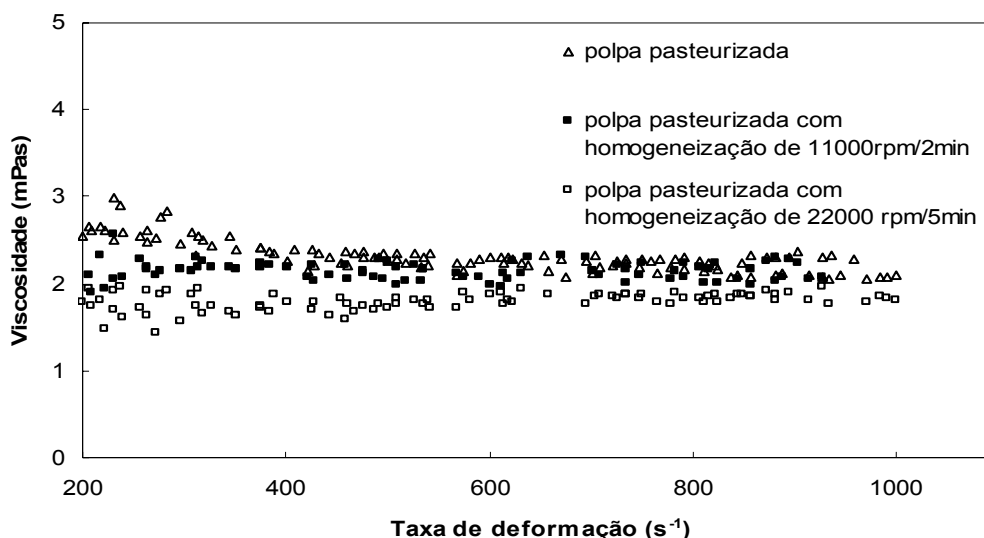


FIGURA 5.4 – Comportamento reológico da polpa pasteurizada sob diferentes velocidades de homogeneização.

A aplicação da enzima Pectinex Ultra SP-L tem a função de macerar o tecido vegetal (NOVOZYMES, 2004). As macerases, ao serem aplicadas ao processo, hidrolisam seletivamente os polissacarídeos da lamela média, compostos principalmente por pectina, preservando a integridade da planta (WHITAKER, 1990). Assim tem-se concomitantemente, no tratamento enzimático a) o amolecimento das partículas em suspensão com diminuição da resistência ao escoamento e consequente diminuição da viscosidade; b) manutenção do tamanho das partículas; c) manutenção do teor de sólidos solúveis em suspensão.

A aplicação do tratamento térmico cozinha o tecido vegetal, porém não tem força suficiente para desestruturar as partículas. Assim, o diâmetro destas é mantido. No entanto, há solubilização da pectina, que atua como estabilizante dos colóides. Deste modo, há aumento no teor de sólidos solúveis e da viscosidade. Esta estabilização, provavelmente causada pelo equilíbrio de cargas, é destruída rapidamente com a aplicação da homogeneização. Com isto, o teor de sólidos solúveis diminui, não sendo influenciado pela intensidade do tratamento. Adicionalmente, o enfraquecimento da coesão das células e das pontes de hidrogênio existentes entre os seus constituintes (PEREIRA & BELÉIA, 2004), com estes tratamentos, facilita a separação das células que formam as partículas, resultando em tamanhos menores à medida que a intensidade de cominuição aumenta. O menor diâmetro foi encontrado para a polpa tratada com a enzima e posteriormente pasteurizada, quando submetida à homogeneização de 22000 rpm/5min. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Servais *et al.* (2002).

TABELA 5.1 - Resultados obtidos nos ensaios de viscosidade (mPas), sólidos solúveis e insolúveis (g100mL^{-1}) e diâmetro das partículas (μm), para a polpa de carambola *in natura*, tratada enzimaticamente e pasteurizada

Tratamentos			
<i>in natura</i>			
	Sem homog.	homog. 11000 rpm/2 min	homog. 22000 rpm/5 min
Visc.(mPas)	1,84 ± 0,12	1,61 ± 0,05	1,45 ± 0,06
Sol. Solu. (g100mL⁻¹)	8,90 ± 0,05	8,80 ± 0,06	8,80 ± 0,06
Sol. Ins. (g100mL⁻¹)	5,15 ± 0,06	5,25 ± 0,05	5,25 ± 0,05
Dp (μm)	73,90 ± 2,19	72,42 ± 1,06	64,10 ± 1,06
Tratada enzimaticamente			
	Sem homog.	homog. 11000 rpm/2 min	homog. 11000 rpm/2 min
Visc.(mPas)	1,22 ± 0,12	1,15 ± 0,11	1,08 ± 0,12
Sol. Solu. (g100mL⁻¹)	8,80 ± 0,06	8,70 ± 0,06	8,70 ± 0,05
Sol. Ins. (g100mL⁻¹)	5,25 ± 0,06	5,35 ± 0,06	5,35 ± 0,05
Dp (μm)	73,07 ± 1,05	57,10 ± 0,96	43,19 ± 0,93
Pasteurizada			
	Sem homog.	homog. 11000 rpm/2 min	homog. 11000 rpm/2 min
Visc.(mPas)	2,28 ± 0,17	2,14 ± 0,10	1,82 ± 0,10
Sol. Solu. (g100mL⁻¹)	11,20 ± 0,06	9,90 ± 0,04	9,90 ± 0,06
Sol. Ins. (g100mL⁻¹)	2,85 ± 0,10	4,15 ± 0,15	4,15 ± 0,15
Dp (μm)	73,90 ± 1,09	60,60 ± 1,92	39,00 ± 1,61

A Figura 5.5 mostra a influência da filtração sobre a polpa pasteurizada, onde sua aplicação diminui em cerca de 40 % o valor da viscosidade. A Tabela 5.2 mostra o efeito da homogeneização e da filtração sobre a viscosidade e teor de sólidos solúveis em polpas *in natura* a pasteurizada, filtradas e não filtradas, homogeneizadas.

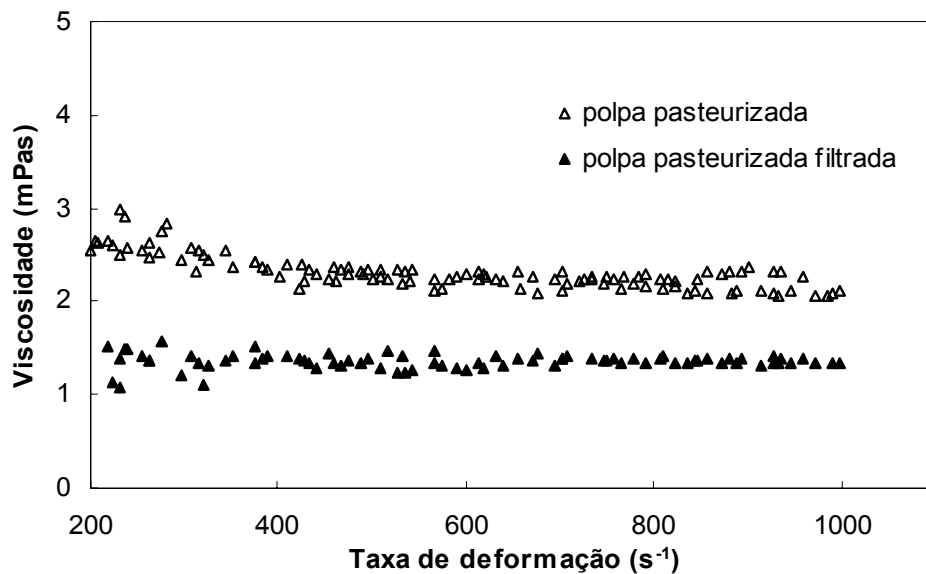


FIGURA 5.5 – Comportamento reológico da polpa pasteurizada não filtrada e filtrada.

A filtração retira da mistura partículas maiores que os poros do filtro de papel, e que são responsáveis pelo aumento da viscosidade. Como visto no capítulo anterior, a amostra *in natura* apresenta uma grande quantidade de sedimento, provavelmente devido à ação da pectinesterase que, em meio ácido e presença de cálcio, forma compostos complexos com a pectina, precipitando. A filtração elimina estas partículas maiores, sedimentadas ou em suspensão, resultando em um teor de sólidos inferior (Tabela 5.2), à da amostra não filtrada (Tabela 5.1), com viscosidades também menores e decrescentes à medida que a intensidade da cominuição aumenta.

Comparando-se as Tabelas 5.1 e 5.2 vê-se que a viscosidade da polpa pasteurizada diminui de $2,28 \pm 0,17$ para $1,75 \pm 0,07$ mPas quando procedeu-se à filtração das amostras (Figura 5.5). Já nos tratamentos com homogeneização para a amostra pasteurizada, verificou-se que a filtração causa uma diminuição de $2,14 \pm 0,10$ para $1,53 \pm 0,08$ mPas para a amostra homogeneizada a 11000 rpm por 2 min e de $1,82 \pm 0,10$ para $1,37 \pm 0,13$ mPas para homogeneização a 22000 rpm por 5 min. Isto corresponde a uma diminuição na viscosidade de 23,40, 28,50 e 24,72%, respectivamente.

TABELA 5.2 – Resultados obtidos nos ensaios de viscosidade (mPas) e sólidos solúveis (g100mL⁻¹) para as amostradas *in natura* e pasteurizadas, filtradas.

<i>In natura</i>			
	Sem homog.	Homog. 11000 rpm/2 min	homog. 11000 rpm/2 min
Visc.(mPas)	1,39 ± 0,07	1,27 ± 0,16	1,15 ± 0,07
Sol. Solu. (g100mL⁻¹)	7,50 ± 0,04	7,40 ± 0,05	7,40 ± 0,05
Pasteurizada			
	Sem homog.	Homog. 11000 rpm/2 min	homog. 11000 rpm/2 min
Visc.(mPas)	1,75 ± 0,07	1,53 ± 0,08	1,37 ± 0,13
Sol. Solu. (g100mL⁻¹)	9,70 ± 0,04	9,60 ± 0,05	9,60 ± 0,06

A concentração da polpa de carambola afetou diretamente a viscosidade, pois eliminou 50 % da água contida no produto. A Tabela 5.3 mostra as viscosidades, e as respectivas concentrações de sólidos solúveis e insolúveis das amostras *in natura* e pasteurizadas, concentradas.

TABELA 5.3 - Resultados obtidos nos ensaios de viscosidade (mPas) e sólidos solúveis (g 100mL⁻¹) para as polpas *in natura* e pasteurizadas concentradas.

	<i>in natura</i>	<i>in natura</i> concentrada	pasteurizada	pasteurizada concentrada
Visc.(mPas)	1,84 ± 1,21	5,39 ± 1,19	2,28 ± 0,17	7,98 ± 0,69
Sol. Sol. (g 100mL⁻¹)	8,90 ± 0,06	12,10 ± 0,20	11,20 ± 0,10	15,40 ± 0,10
Sól. Insol. (g 100mL⁻¹)	5,15 ± 0,06	16,00 ± 0,06	2,85 ± 0,05	12,70 ± 0,06

Pelos resultados apresentados observa-se que a diminuição à metade do volume não dobra o teor de sólidos solúveis, o que nos leva a crer que parte destes sólidos passa à forma insolúvel, devido ao aumento da concentração. Cerca de 2,85g, para a polpa *in natura*, e de 3,50g, para a polpa pasteurizada deixam a solução. Observa-se que há um aumento significativo na quantidade de sólidos insolúveis, que passa de 5,15 a 16g 100mL⁻¹ para a polpa *in natura*, e de 2,85 para 12,70g 100mL⁻¹ para a polpa pasteurizada. Isto

parece ter influência decisiva no aumento da viscosidade, particularmente porque a maior parte destes sólidos se encontram em suspensão para a polpa pasteurizada.

Pode-se ver que o aumento no teor de sólidos solúveis com a concentração da polpa é bem menor que o de sólidos insolúveis, devendo-se ter uma menor contribuição para o aumento da viscosidade. Este fato é corroborado pela comparação com a polpa *in natura* e pasteurizada, não concentrada, onde o aumento de sólidos solúveis passa de 8,90 para 11,20 g 100mL⁻¹, e a viscosidade aumenta em apenas 0,44 mPas, pois passa de 1,84 mPas na polpa *in natura* para 2,28 mPas, na polpa pasteurizada. Deve-se ter em mente que um processo de concentração envolve uma aproximação entre as partículas, às quais por força de atração ligam-se umas às outras formando aglomerados, dentro dos quais formam-se pequenas quantidades de água, (PANDOFELLI *et al.*, 2000) o que justifica a diminuição do teor de sólidos solúveis na suspensão.

O comportamento newtoniano apresentado pela polpa de carambola nas concentrações estudadas diverge dos resultados apresentados por alguns autores como Pelegriane *et al.* (2000) e Branco & Gasparetto (2003), os quais afirmam que sucos e polpas de frutas concentradas apresentam comportamento pseudoplástico, com sua viscosidade aparente diminuindo com o aumento da taxa de deformação.

5.4 CONCLUSÃO

A polpa de carambola é um produto que apresenta baixos teores de sólidos em suspensão sendo que, o teor de sólidos mostrou-se o principal fator responsável pelo comportamento reológico da polpa. Em todos os tratamentos com a polpa de carambola, o comportamento observado foi o newtoniano, confirmado pelos valores de R² que foram superiores a 0,98.

O tratamento enzimático reduziu a viscosidade em cerca de 34% em relação à polpa *in natura*, pelo fato de que as enzimas pectinolíticas quebram cadeias de polímeros, tais como pectina e hemicelulose, aumentando a extração do suco e diminuindo a viscosidade da polpa.

O tratamento enzimático seguido de pasteurização aumentou o teor de sólidos em suspensão, pela ação enzimática sobre as células e seus componentes, aumentando o teor de sólidos insolúveis e, resultando assim em um aumento de viscosidade.

No estudo da homogeneização foi observado que o aumento da intensidade de cominuição diminuiu o tamanho da partícula, influenciando a viscosidade da suspensão. Pode-se observar que a homogeneização não teve influência sobre o teor de sólidos

solúveis da amostra *in natura*, no entanto, diminuiu a viscosidade da suspensão devido à redução no tamanho das partículas presentes na polpa de carambola.

A filtração resultou em uma suspensão com teor de sólidos inferiores à polpa não filtrada, resultando em viscosidades mais baixas.

Foi ainda observado que a concentração da polpa de carambola a 50% do volume aumentou a viscosidade da polpa pasteurizada de 2,28 mPas para 7,98 mPas. A polpa de carambola por ser uma suspensão com alto teor de água, mesmo com a concentração a 50 % de seu volume, não modificou seu comportamento, permanecendo como newtoniano.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. 12.ed. Washington: A.O.A.C., 1975. 1115p.

BINNER, S.; JARDINE, W.G.; RENARD, C.M.C.G.; JARVIS, M.C. Cell wall modifications during cooking os potatoes and sweet potatoes. **Journal of Science of Food an Agriculture**, v.80, n.2, p.216-218, 2000.

BRANCO, I.G.; GASPARETTO, C.A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23 supl. Dez. 2003.

CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**, 2.ed. Zaragoza: Acribia, 1992. v.1.

HOLDSWORTH, S.D. Aplicability os rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid products. **Journal of Texture Studies**. v.2, n.4, p.393-418, 1971.

NG, A.; WALDRON, K.W. Effect of steaming on cell wall chemistry os potatoes (*Solanum tuberosum*) in relation to firmness. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, n.9, p.3411-3418, 2002.

NOVOZYMES, 2004. Informação capturada na Internet. Disponível em: <http://www.novozymes.com>. Acesso em 24 de novembro de 2004.

PANDOFELLI, V. C. et al. Dispersão e empacotamento de partículas, princípios e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: Fazendo Arte, 2000.

PELEGRINE, D.H., VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, 2000.

PEREIRA, L.T.P.; BELÉIA, A.P. Isolamento, fracionamento e caracterização de paredes celulares de raízes de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. 24(1): 059-063, jan.-mar. 2004

PILEGRI, R.G.A.R. et al. Um modelo para previsão da viscosidade mínima de suspensões cerâmicas. *Cerâmica*, v.46, n.299, São Paulo, jul./ago./set., 2000.

QUEIROZ, A.J.M.; VIDAL, J.R.M.; GASPARETTO, C.A. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, 2000.

SERVAIS, C.; JONES, R.; ROBERTS, I. The influence of particle size distribution on the processing of food. **Journal of Food Engineering**, 51(2002) 201-208.

VASQUES, C.T.. Reologia do suco de goiaba: Efeito da diluição e do tamanho de partícula. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

VIDAL, J.R.M.B.; PELEGRINE, D.H.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangífera indica L-Keitt*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 24(10): 039-042, jan.-mar. 2004.

WHITAKER, J. R. Microbial pectolytic enzymes. In: Forgaty, W. M.; Kelly, C. T. (ed) *Microbiol enzymes and biotechnology*. 2 ed. London: Elsevier, cap. 4, p. 133-176. 1990.

WHITAKER, J. *Handbook of enzymology*. 2002. Marcel Dekker, Inc. Nova York, USA.

Capítulo 6

CONCLUSÕES

Visando determinar a estabilidade física e o comportamento reológico da polpa de carambola bem com o fazer-se o estudo da cor da mesma, os resultados deste estudo nos permitiu concluir que com relação ao estudo do rendimento da polpa, a adição da enzima pectinase na polpa de carambola aumentou o rendimento da polpa obtida. Observou-se que a quantidade de resíduos sólidos gerados para a obtenção da polpa convencional foi de 5,54% a mais de resíduos gerados na produção da polpa com adição de enzima.

O estudo da cor da polpa de carambola nos mostrou que o tratamento térmico é quesito fundamental na preservação da mesma, pois este é capaz de inativar a enzima polifenol oxidase presente em frutas e vegetais, sendo esta responsável pelo escurecimento enzimático dos mesmos. As amostras pasteurizadas apresentaram valores de luminosidade superiores as demais, caracterizando o fluido como claro, brilhante. A homogeneização teve pouca influência sobre a cor da polpa.

No estudo da estabilidade física da polpa de carambola conclui-se que o tratamento enzimático diminui a sedimentação em cerca de 62% em relação à polpa *in natura*, e a pasteurização aumentou a altura de sedimentação em cerca de 50% relativamente às enzimas, propiciando homogeneidade da suspensão da polpa de carambola.

Também observou-se que a homogeneização teve forte influência sobre a estabilidade da polpa de carambola, favorecendo a formação de uma turbidez uniforme nas polpas tratadas enzimaticamente e pasteurizadas. A aplicação direta sobre a polpa *in natura* não foi suficiente para a obtenção da estabilização da polpa.

No estudo do comportamento reológico da polpa de carambola, todas as amostras, com seus tratamentos de pasteurização, adição de enzima pectinase, concentração, homogeneização e filtração apresentaram comportamento newtoniano, confirmados pelos valores de R^2 que foram superiores a 0,98.

O tratamento enzimático reduziu a viscosidade em cerca de 34% em relação à polpa *in natura*.

Os tratamentos enzimático seguido de pasteurização aumentaram o teor de sólidos solúveis em suspensão, pela ação enzimática sobre as células e seus componentes, resultando assim em um aumento de viscosidade.

No estudo da homogeneização, observou-se que o aumento da intensidade de cominuição foi capaz de diminuir o tamanho da partícula, o que tem influência direta sobre a viscosidade da suspensão. Observou-se também que a homogeneização não teve influência sobre o teor de sólidos solúveis da amostra *in natura*.

A filtração resultou em uma suspensão com menor teor de sólidos solúveis com viscosidade conseqüentemente mais baixa, e que decresceu à medida que a intensidade de homogeneização das amostras aumentou.

Foi ainda observado que a concentração da polpa de carambola a 50% do volume inicial aumentou a viscosidade da polpa pasteurizada de 2,28 mPas para 7,98 mPas. A polpa de carambola por ser uma suspensão com alto teor de água, mesmo com a concentração a 50% de seu volume inicial, não modificou seu comportamento, permanecendo como comportamento newtoniano.

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

De acordo com os resultados e conclusões obtidas nesse estudo pode-se sugerir alguns trabalhos futuros como:

- Estudar a influência da composição química da suspensão sobre a estabilidade física das partículas;
- Avaliar o diâmetro das partículas por diferentes métodos de medida;
- Estudar a cinética do escurecimento enzimático da suspensão;
- Estudar as relações de densidades para ter-se a velocidade de sedimentação da partícula e assim calcular-se o diâmetro das mesmas;

Capítulo 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKORTA, I., GARBISU, C., LLAMA, M. J.; SERRA, J. L. Industrial applications of pectic enzymes: a review. **Process Biochemistry**, v. 33, p. 21-28. 1997,

ALVARADO, J.D.; AGUILERA, J.M. Métodos para medir Propriedades Físicas em Indústrias de Alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, 2001. p.410.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: www.anvisa.com.br. Acesso em: 12 jun. 2004

ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 1995.

ARTHEY and ARHURST. Fruit Processing: Fruit and human nutrition.. New York: Blackey Academic & Professional. 1998. p.20-39.

ASPINALL, G.O. Chemistry of cell wall polysaccharides.In: STUMPF, P.K.; COON, E.E. (Ed). The biochemistry of plants: a comprehensive treatise.New york: Academic Press, 1980. cap.12, p.473-500.

AZOUBEL, P.M.; CIPRIANI, D.C.; EL-AOUAR, A.A.; ANTONIO, G.C.; MURR, F.E.X. Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering** .66, 2005, p. 413–417

BASTOS, M.S.R.; GURGEL, T.E.P.; SOUSA, M.S.M.F.; LIMA, I.F.B.; SOUZA, A.C.R.; SILVA, J.B. Efeito da aplicação de enzimas pectinolíticas no rendimento da extração de polpa de cupuaçu. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 240-242, abril 2002.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. 3ªed. São Paulo, 2001.

BRANCO, I.G.; GASPARETTO, C.A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas

ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23 supl. Dez. 2003.

BRAVO, C. E. C.; CARVALHO, E. P.; SCHWAN, R. F.; GÓMEZ, R. J. H. C.; PILON, L. (2000), Determinação de condições ideais para produção de poligalacturonase por *Kluyveromyces marxianus*. **Ciência Agrotécnica.**, v. 24, p.137-152.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras :ESAL,FAEPE ,1990. 293 p.

CIE - International Commission on Illumination. Disponível em: <http://www.cie.co.at/cie/>. Acesso em 18 de outubro de 2004.

Da SILVA, R.; FRANCO, C. M. L.; GOMES, E. Pectinases, hemicelulases e celulases, ação, produção e aplicação no processamento de alimentos: Revisão. **Boletim Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, p. 249-260. 1997.

DONADIO, L.C. Carambola growing in Brazil. Proceedings of the Interamerican Society of the Tropical Horticulture, v.33, p.26-29, 1989.

DOWN, J.M.; DAVIES, H.A.; DANIELS, M.J. A metalloprotease from *Xanthomonas campestris* that specifically degrades proline/hydroxyproline-rich glycoproteins of the plant extracellular matrix. **Molecular Plant Microbe Interactions**. V.11,n.11, p.1085-1093, 1998.

EINSTEIN, A. Eine neue bestimmung der molekuldimension. Ann Physik 19: 289-306, 1906.

EINSTEIN, A. Berichtigung zu meiner arbeit: Eine neue bestimmung der molekuldimension. Ann Physik 34: 591-592, 1911.

ENZYMES. Disponível em: www.enzymes.com. Acesso em 15 set. 2004.

FERREIRA, G.M.; QUEIROZ, A.J.M.; GASPARETTO, R.S.C.C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 4, n. 2, Jul/Dez 2002.

GALIOTOU-PANAYOTOU, M.; KAPANTAI, M. e KALANTZI. Growth conditions of *Aspergillus* sp. ATHUM-3482 for polygalacturonases production. **Appl. Microbiol. Biotech.** v. 47, p. 425-429. 1997.

GLICKSMAN, M. Background and classification. In: GLICKSMAN, M. **Food hydrocolloids**. New York: Academic Press, 1982a. v.1, p.3-18.

GODOY, R.C.B.; ANTUNES, P.L. & ZONTA, E.P. Estabilização de néctar de goiaba (*Psidium guajava* L.) com gomas xantana, carragena e amido ceroso. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.2, p.105-110 Mai-Ago, 1998.

GOMES, J.E.; PERECIN, D.; MARTINS, A. B. G.; FONTES, S.R. Comportamento de propriedades físicas, químicas e reológicas do suco de acerola armazenado a baixa temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.296-300, 2001.

GOMES, P. **Fruticultura Brasileira**. 11^a ed., Nobel, São Paulo, 1989. 446 p.

HELDT, H.W.; HELDT, F. *plant Biochemistry & Molecular Biology*. 1ed., Oxford: Oxford University Press, 1997. 522p.

HOLDSWORTH, S.D. Aplicability os rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid products. **Journal of Texture Studies**. v.2, n.4, p.393-418, 1971.

HUNTERLAB – Disponível em: www.hunterlab.com/products. Acesso em 17 de maio de 2004.

JIMÉNEZ, G.; DURÁN, L. Propriedades Reológicas de produtos derivados de frutas e de tomate. Revisión Bibliográfica. **Rev. Agroquím. Technol. Alim**. V.19, n.2, p.203-217, 1979.

KASHYAP, D. R.; VOHRA, P. K.; CHOPRA, S.; TEWARI, R. Applications of pectinases in the commercial setor: a review. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 215-227, 2001.

KOBAYASHI, M. HASHIMOTO, A. Y. et al. **Obtenção das curvas de viscosidade comparando diferentes defloculantes utilizados em argilas brancas**. Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, <http://www.usp.br/siicusp/8osiicusp/resumos/ficha2201.htm>, visitado em 02 de agosto de 2001.

LEWIS, M.J. **Propriedades Físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. 1 ed. Ed. Acribia. Zaragoza, 1993.

MACHADO, E.S.V; LINHARES, I.W. Concentrado calórico de baixo custo. **Revista de Iniciação Científica**. Unicentro Newton Paiva, 2002.

MACOSCO, C. W. **Reology: principles, Measurements and applications**. Minneapolis, VCH publishers, inc., 1994.

MALDONADO, M. C.; STRASSER de Saad, A. M. (1998), Production of pectinesterase and polygalacturonase by *Aspergillus niger* in submerged and solid state systems. **J. Ind. Microbiol. Biotechnol.**, v. 20, p. 34-38.

MARTINS, G.J.M. Influência da dureza da água em suspensões de esmalte cerâmico. Florianópolis: Faculdade de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. 85 p. Dissertação de Mestrado.

MATSUURA, F.C.A.U; ROLIM, R.B. Avaliação da adição de suco de acerola em suco de abacaxi visando à produção de um “blend” com alto teor de vitamina C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 138-141, abril 2002.

MURATA, M.; TSURUTANI, M.; TOMITA, M.; HOMMA, S.; KANEKO, K. Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.43, n.5, p.1115-1121, 1995.

NINDO, C.I.; TANG, J.; POWERS, J.R.; SINGH, P. Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. **Journal of Food Engineering**, 2004.

NOVOZYMES. Disponível em: www.novozymes.com. Acesso em 15 set. 2004.

OLIVEIRA, A.P.V.; FRASSON, K.; BENASSI, M.T. Medida instrumental de Cor em Sobremesas Lácteas de Chocolate: uma Técnica de Baixo Custo e Versátil Utilizando Câmara Digital. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.2, p.191-196, 2003.

OLIVEIRA, M.E.B.; BASTOS, M.S.C.; FEITOSA, T.; BRANCO, M.A.A.C.; SILVA, M.G.G. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.3, 1999.

ORTEGA, F. S., PILEGGI, V. C. et al. Análise da relação entre distância de separação entre partículas (IPS) e viscosidade de suspensões. São Paulo, **Revista Cerâmica**, vol. 48, nº. 295, aug/oct, 1999.

PANDOFELLI, V. C. et al. Dispersão e empacotamento de partículas, princípios e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: Fazendo Arte, 2000.

PELEGRINE, D.H., VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, 2000.

PRADE, R.A.; ZANGH, D.F.; AYOUBI, P.; MORT, A.J. Pectins, pectinases and plant-microbe interactions. *Biotechnology of Genetic Engineering Reviews*, v.16, p.361-391, 1999.

QUEIROZ, A.J.M. Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1998. 170 p. Tese de Doutorado.

QUEIROZ, A.J.M.; VIDAL, J.R.M.; VIDAL, B.C.; GASPARETTO, C.A. Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 24, Anais, Uberlândia, MG, v.1, p.49-53, 1996.

QUEIROZ, A.J.M.; VIDAL, J.R.M.; GASPARETTO, C.A. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, 2000.

RAO, M.A. Rheology of fluid and semisolid foods – Principle and Applications. Gaithersburg, Maryland, 1999.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; CURTIS, H. **Biologia Vegetal**. 2ed, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1976. 724p.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 6ed, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 2001. 906p.

ROBARDS, K.; PRENZLER, P.D.; TUCKER, G.; SWATSITANG, P.; GLOVER, W. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chemistry**, Oxford, v.66, n. 4, p.401-436, 1999.

ROMBOUTS, F.M.; PILNIK, W. (1980), Pectic enzymes. **Economic Microbiol.**, London, Academic Press. v. 5, p.227.

SAÚCO, V.G. Possibilities of non-citrus tropical fruit in the Mediterranean. **Acta Horticulturae**, n.365, p.25-41, 1994.

SCHOTTLER, P. & HAMATSCHEK, J. Application of decanters for the production of tropical fruit juices. **Fruit Processing**. V.4, n.1, p.198-301, 1994.

SILVA, E.M. Mecanismos bioquímicos de fisiopatias importantes de frutas. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGIA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES, 2., 2000, Bogotá. **Memorias...** Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2000. p. 5-19.

SILVA, I. A. M e BUECHNER, K. H. Auxiliares químicos para moagem e dispersão. BASF, VII FETEC – Forum de reologia, II Seminário de Tecnologia Cerâmica, Cocal do Sul/SC, 1997.

TEIXEIRA, H.A.T.; DURIGAN, L.C.D.; SILVA, J.A.A. Caracterização pós-colheita de seis cultivares de carambola (*Averrhoa carambola L.*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.546-550, 2001.

THANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M.A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size methods of concentration. **Journal of Food Science**, New York, v.52, n.1, p.141-145, 1987.

TIZIANI, S.; VODOVOTZ, Y. Rheological effects of soy protein addition to tomato juice. **Food Hydrocolloids** 19 (2005) 45–52.

TODA FRUTA, 2003. Informação capturada da internet. Disponível em: www.todafruta.com.br. Acesso em 03 de janeiro de 2003.

TRIFIRÓ, A.; SACCANI, G.; GHERARDI, S.; BIGLIARDI, D. Effect of content and sizes of suspended particles on the rheological behaviour of apricot purees. *Industria Conserve*, Napoli, v.62, p.97-104, 1987.

VASQUES, C.T.. Reologia do suco de goiaba: Efeito da diluição e do tamanho de partícula. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

VIDAL, J.R.B.; PELEGRINE, D.H.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangifera indica L–Keitt*). Campinas, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. vol.24, n.1 Jan./Mar. 2004.

WHITAKER, J. R. Microbial pectolytic enzymes. In: Forgy, W. M.; Kelly, C. T. (ed) **Microbiol enzymes and biotechnology**. 2 ed. London: Elsevier, cap. 4, p. 133-176. 1990.